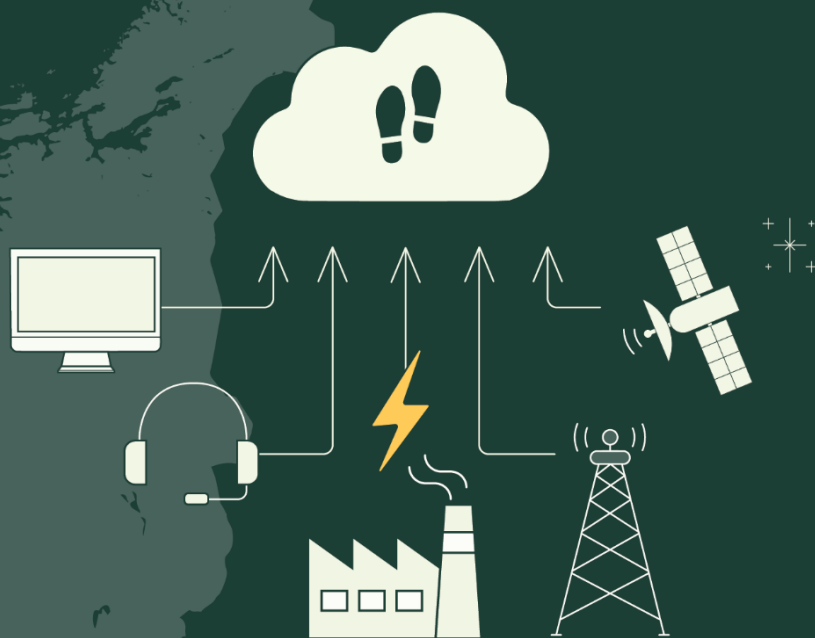


Fotavtrykket fra norsk digital infrastruktur 2024

En studie gjennomført av Asplan Viak på oppdrag fra
Nasjonal kommunikasjonsmyndighet



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver: Nasjonal kommunikasjonsmyndighet

Tittel på rapport: Fotavtrykket fra norsk digital infrastruktur 2024

Oppdragsnavn: Analysis of the environmental footprint from Norwegian digital infrastructure

Oppdragsnummer: 644253-01

Utarbeidet av: Molly Bazilchuk, Andrea Arntzen Nistad, Marta Baltruszewicz, Kjartan Steen-Olsen, Christian Solli

Oppdragsleder: Molly Bazilchuk

Tilgjengelighet: Åpen

Henvisning: Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom), 2025. Fotavtrykket fra norsk digital infrastruktur 2024 (Versjon 1.0). Utarbeidet av Asplan Viak.

1.0	13. mar. 2025	Første versjon	MB, MSB, AN, KSO, CS	CS
Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS

Innholdsfortegnelse

Dokumentinformasjon	1
1. Sammendrag	5
2. Forkortelses- og begrepsliste	7
3. Introduksjon	9
3.1. Formål og metode	9
3.2. Systemgrenser	10
4. Metode	13
4.1. Livsløpsanalyse (LCA)	13
4.1.1. Livsløpsfaser.....	13
4.1.2. Strømmiks	15
4.1.3. Miljøpåvirkningskategorier	16
4.2. Kryssløpsanalyse	17
4.2.1. Database	19
4.2.2. Kapitalslit	19
4.2.3. Relevante sektorer.....	20
5. Datainnsamling	21
5.1. Sluttbrukerenheter	21
5.2. Nettverk	22
5.2.1. Oppbygning av kommunikasjonsnettverk	23
5.2.2. Fiberoptiske kabler	24
5.2.3. Mobilnett	24
5.2.4. Fastnett	26
5.2.5. Transmisjons- og kjernenettet.....	28
5.2.6. Satellitt	28
5.3. Datasenter	31
5.4. Bruk av digital infrastruktur i utlandet	34
6. Resultater	36

6.1. Klimafotavtrykk	36
6.1.1. Sluttbrukerenheter	38
6.1.2. Nettverk	40
6.1.3. Datasenter	43
6.1.4. IT-tjenester	44
6.1.5. Bruk av digital infrastruktur i utlandet	44
6.1.6. Utslippskilder	44
6.2. Energi	47
6.3. Ressursbruk	49
6.3.1. Fossil ressursbruk	49
6.3.2. Ressursbruk, vektet i forhold til ressursknapphet	49
6.3.3. Ressursbruk, målt i masse	50
6.4. Natur	54
6.5. Andre og høyere ordens effekter	55
 7. Validering og følsomhetsanalyse	 58
7.1. Validering	58
7.1.1. Sammenligning med andre internasjonale studier	58
7.1.2. Sammenligning med Frankrike / ADEME-Arcep	59
7.1.3. Sammenligning med kryssløpsanalyse	63
7.2. Følsomhetsanalyse	64
 8. Konklusjon og videre arbeid	 67
 9. Appendiks	 69
9.1. Utvalgte referanser	69
9.2. Vurdering av datakvalitet	70
9.2.1. Mengdedata	70
9.2.2. Inventardata	72
9.3. Tilleggsinformasjon metode	74
9.3.1. Distribusjon / transport	74
9.3.2. Arealbruksendringer	75
9.3.3. Avhending	76

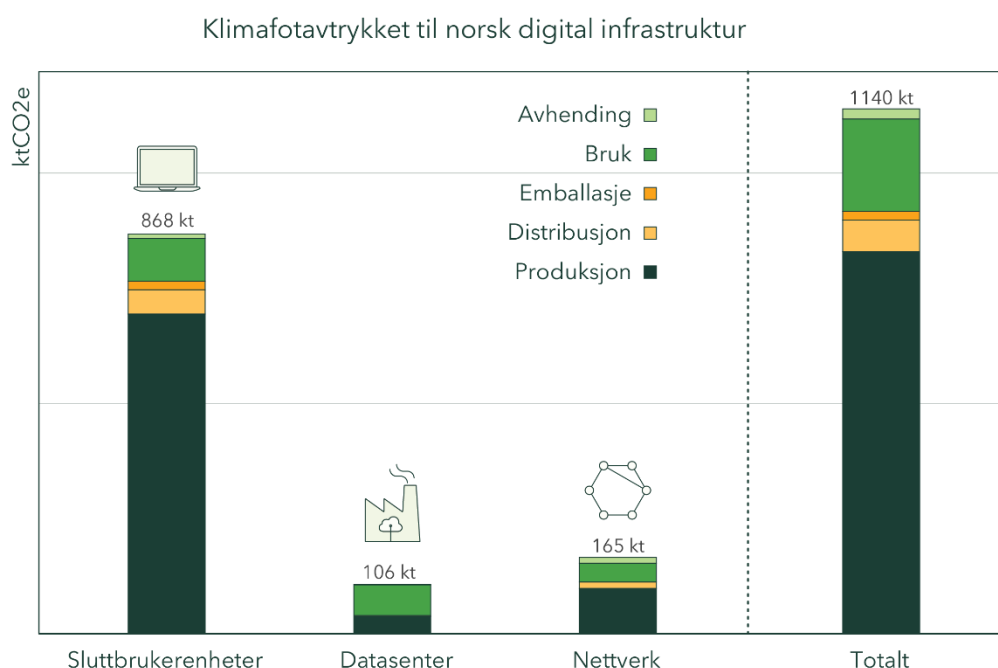
9.4. Data – Sluttbrukerenheter	79
9.4.1. Modellering av komponenter.....	79
9.4.2. Salgsstatistikk fra Elektronikkbransjen	80
9.4.3. Importstatistikk fra Tollvesenet	81
9.4.4. Abonnementstatistikk fra Nkom.....	81
9.4.5. IoT	82
9.4.6. Emballasje	83
9.5. Data – Nettverk	83
9.5.1. Mobilnett	83
9.5.2. Fastnett	86
9.5.3. Satellitt	88
9.6. Data – Datasenter	90
9.6.1. Servere.....	91
9.6.2. Ekstern lagring.....	92
9.6.3. Nettverksutstyr.....	92
9.6.4. Stativ	93
9.6.5. Kjølesystem	93
9.6.6. UPS og batteri.....	93
9.6.7. Aggregat	94
9.6.8. Transformator.....	95
9.6.9. Bygningsmasse.....	95
9.6.10. Effekten av hyperscale-aktører	95
9.7. Materialfotavtrykk	96
9.8. NACE sektorer aggregering	97

1. Sammendrag

For at Norge skal kunne arbeide for et redusert klima- og naturfotavtrykk fra den digitale infrastrukturen, må fotavtrykket først kvantifiseres. Denne studien er en analyse av klima- og miljøbelastningen fra digital infrastruktur i drift på norsk jord i 2024.

Digital infrastruktur er delt i tre tekniske segment: datasenter, nettverk, og sluttbrukerenheter. Analysen er gjennomført med livsløpsanalyse (life cycle assessment, LCA), en metode som kartlegger påvirkningen til hele livsløpet til et system, fra råmaterialutvinning til avhending. Påvirkningen på klima og natur er analysert innenfor kategoriene klimagassutslipp, materialforbruk, strømforbruk og beslaglagt areal.

Det samlede klimafotavtrykket for digital infrastruktur i Norge er beregnet til 1,1 millioner tonn CO₂e med en lokasjonsbasert strømmiks (50 gram CO₂e/kWh) og 2,5 millioner tonn CO₂e når man benytter en markedsbasert strømmiks (412 gCO₂e/kWh). Til sammenligning var direkte utslippene fra innenriks luftfart sektoren 1,2 millioner tonn CO₂e i 2023.



Sluttbrukerenheter, som omfatter ulike typer enheter som brukes til digital kommunikasjon, står for hele 76 % av klimafotavtrykket. Sluttbrukerenheter skiller seg ut ved at produksjonen av enhetene står for en betydelig del av klimafotavtrykket, mens driftsfasen i form av strømforbruk dominerer for nettverks- og datasentersegmentene. Nettverk, som inkluderer fastnett, mobilnett, transmisjons- og kjernenett, og satellitter, står for 15 % av klimafotavtrykket, med mobilnett som den største bidragsyteren. Datasentre, som er et segment i stor vekst i Norge, står for 9 % av klimafotavtrykket.

Strømforbruk er en viktig bidragsyter til klimafotavtrykket, men også en knapphetsressurs som burde som et adskilt bidrag til fotavtrykket. Det er estimert at norsk digital infrastruktur brukte til sammen 3,7 TWh strøm i 2024, noe som tilsvarer 2,6 % av Norges totale strømforbruk.

Materialfotavtrykket fra digital infrastruktur er beregnet til 4 millioner tonn per år, med sluttbrukerenheter som den største bidragsyteren. Materialer definert som kritiske råvarer av EU utgjør ca. 1 000 tonn av det samlede materialfotavtrykket.

Det samlede arealbeslaget for digital infrastruktur er estimert til 0,9 km², jevnt fordelt mellom nettverk og datasentre. Dette er en nedre grense, og omfatter tomtene som er aktivt i bruk av datasenter, frittstående lokasjoner i mobilnettet, og noderom. Mye at det beslaglagte arealet kommer av datasenter som er bygd de siste årene, og det er forventet at arealbeslaget vil øke kraftig i kommende år.

Digital infrastruktur i utlandet som følge av nordmenns nettforbruk er beregnet med grove estimer og er anslått til 64 – 96 tusen tonn CO₂e med stor usikkerhet. Dette er tilsvarende størrelsesorden som klimafotavtrykket fra fast aksessnettet.

Denne analysen tar kun høyde for første ordens eller direkte miljøeffekter av digital infrastruktur. Med digitalisering medfølger en rekke andre og høyere ordens effekter som kan slå både positivt og negativt ut for miljøbelastninger (for eksempel: strømmetjenester som erstattet fysiske filmprodukter, men så fører til en økning i datatrafikk).

2. Forkortelses- og begrepsliste

Begrep	Definisjon
ADEME	Agence de la transition écologique, den franske motparten til Miljødirektoratet
Arcep	Frankrikes reguleringsmyndighet for elektronisk kommunikasjon, posttjenester og distribusjon av presse, den franske motparten til Nkom
Aksessnett	Det ytterste laget i et kommunikasjonsnettverk, som er delen av nettverket som er koblet mot brukerterminaler
Basestasjon	En sender- og mottakerstasjon i mobilnettet, driftet av en mobiloperatør. Flere mobiloperatører kan ha basestasjoner på en lokasjon, såkalt samlokalisering
BBU / BTS	Baseband unit eller base transceiver station, utstyret som tolker signaler på ulike frekvenser i en basestasjon i mobilnettet
Biogene utslipp	Utslipp av karbondioksid til atmosfæren som oppstår ved forbrenning eller forråtning av biologisk material (som tre), i motsetning til utslipp fra fossile kilder
Colocation	En forretningsmodell for datasenterdrift hvor datasenteraktører leier ut areal til kunder som plasserer sine servere hos datasentrene
ecoinvent	En stor database som inneholder generell data om livsløpet og miljøeffektene til ulike prosesser, som benyttes som bakgrunn i denne studien
EPD	Environmental Product Declaration, et standardisert dokument som gir informasjon om miljøpåvirkningen til et produkt beregnet med livsløpsanalyse
FIGARO	En tilgangs- og anvendelsestabell produsert av Eurostat, EUs statistikkbyrå, som benyttes for kryssløpsanalysen gjennomført i denne studien
HPA	High Power Amplifier, en type forsterker som brukes til å sende signaler til satellitter
HPC	High Performance Computing, en fellesbetegnelse for datamaskiner som kjører kraftige beregninger som store simuleringer eller trening av kunstig intelligens modeller
IoT	Internet of Things / tingenes internett, en fellesbetegnelse for enheter som samler inn, utveksler data ved hjelp av sensorer og tilkoblinger til nettverk.
ITU	International Telecommunication Union, FNs organisasjon for informasjonsteknologi og telekommunikasjon
Kjernenett	Det innerste laget i et kommunikasjonsnettverk, som kjennetegnes av ringstrukturer
Klimafotavtrykk	Den totale mengden klimagasser som slippes ut som følge av en aktivitet. Fotavtrykket omfatter hele verdikjeden og livsløpet til en aktivitet.
Kryssløpsanalyse (forkortets IOA , fra engelsk <i>input-output assessment</i>)	En metode for å se på en gitt aktivitets direkte og indirekte effekter i ulike sektorer av økonomien basert på makroøkonomiske tilgangs- og anvendelsestabeller. I denne analysen bruker miljøutvidet kryssløpsanalyse, som er samme prinsipp koblet med utslippsstatistikk, for å analysere klimafotavtrykket fra et «ovenfra-og-ned»-perspektiv.
Lokasjon (også kalt mobilsite)	Et fysisk sted hvor en eller flere tårnselskap drifter en eller flere basestasjoner i mobilnettet. En lokasjon kan operere på flere teknologier samtidig (2G, 4G, 5G) og være delt av flere tårnselskap

LCA	Livsløpsanalyse er en metodikk som vurderer miljøpåvirkningen av et produkt eller prosess gjennom hele livsløpet, fra råvareutvinning til avhending
Lokasjonsbasert (strømmiks)	En måte å beregne miljøpåvirkningen til strømmiksen som tar hensyn til strømmen som fysisk produseres og benyttes i det relevante geografiske området
Markedsbasert (strømmiks)	En måte å beregne miljøpåvirkningen til strømmiksen som tar hensyn til hvorvidt det er kjøpt opprinnelsesgarantier til strømmen
Materialfotavtrykk	Den totale mengden materialer som benyttes i livsløpet til en aktivitet, som omfatter hele verdikjeden
NACE	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne. Statistisk klassifikasjon av økonomiske aktiviteter i EU ; brukes i kryssløpsmodell
ONT	Optical Network Terminal, en enhet som kobler sluttbrukeren til en internettleverandør i fastnett. Også kalt hjemmesentral
Opprinnelsesgarantier	Sertifikater som er utstedt for å formelt dokumentere at en gitt mengde strøm er produsert av fornybare kilder
PB	Petabyte, en million gigabyte med data
PON	Passive Optical Network, en teknologi benyttet i fibernettverket som tillater flere kunder per kabel
PUE	Power Usage Efficiency, et standardmål på energieffektiviteten til et datasenter, beregnet ved å dele det samlede energiforbruket på energiforbruket i IT utstyret. Lavere PUE tyder bedre energieffektivitet
RoW	Rest of World, en samleregeion i kryssløpsmodellen som representerer summen av de resterende, mindre økonomier som ikke er behandlet som egne land i modellen.
RRH/RRU	Remote Radio Head/Remote Radio Unit, enheten som genererer signaler som sendes over mobilnettet via antenner.
Teknisk segment	Inndelingen av digital infrastruktur som benyttes i denne studien, som består av datasenter, nettverk og sluttbrukerenheter
TJ	Terrajoule, 10^{12} joule. Joule er enhet for energi (arbeid eller varme).
SimaPro	Programvare for livsløpsanalyse som er benyttet i denne analysen
Sluttbrukerenheter	Fysiske enheter som brukere benytter til å kommunisere via digitale nettverk. I denne studien omfattes mobiltelefoner, nettbrett, datamaskin, skjerm, TV, spillkonsoll, smartklokker, IoT enheter, set-top bokser og WiFi-routere av sluttbrukerenheter
UPS	Uninterruptible Power Supply, en enhet som gir nødstrøm til elektronisk utstyr ved strømbrytning. Den kjennetegnes ved at den alltid er påkoblet, slik at den sikrer kontinuerlig drift i utstyret ved at det er ingen avbrudd i strømforsyningen

3. Introduksjon

3.1. Formål og metode

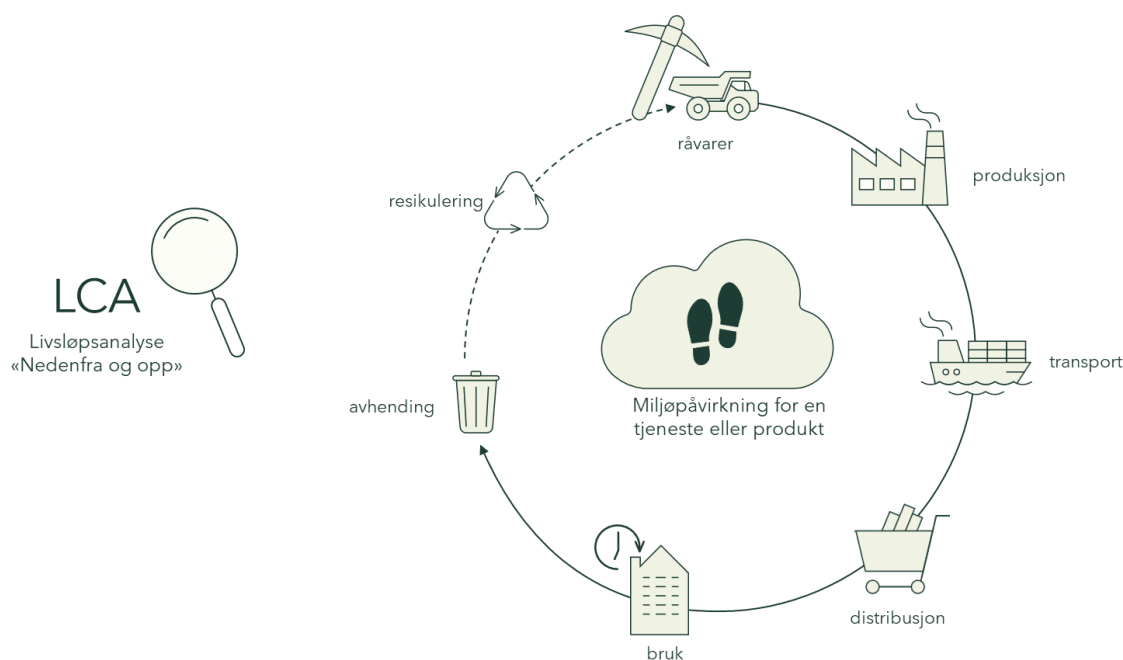
Denne studien har som det primære formålet å etablere en kunnskapsbasert referanse for miljøpåvirkningene fra digital infrastruktur i Norge, ved å analysere norsk digital infrastruktur som har kommunikasjon som hovedformål for 2024.

For beslutningstakere vil studien kunne tjene som grunnlag for å vurdere dagens og fremtidens fotavtrykk fra den digitale infrastrukturen, og bidra til den politiske diskusjonen rundt relevante tiltak for en bærekraftig digital infrastruktur i Norge.

For selskapene som inngår i den digitale infrastrukturen, vil studien være et kunnskapsbasert bidrag for deres bærekraftstrategier. Studien – og prosessen med å dele/rapportere data – skal også bidra til dialogen om utviklingen av felles praksis for å måle, rapportere og kommunisere klima- og naturfotavtrykket.

Det første steget mot å redusere fotavtrykket er å måle det, og arbeidet i denne rapporten ble igangsatt med dette som bakgrunn. Digital infrastruktur er en sektor i betydelig vekst, og muliggjør mange teknologibaserte produkter og tjenester som kreves for en grønn samfunnsomstilling. Likevel forårsaker digital infrastruktur klima- og naturbelastninger, og fotavtrykket må reduseres samtidig som gevinstene ved infrastrukturen maksimeres.

Det franske miljødepartementet ADEME sammen med Arcep, Frankrikes reguleringsmyndighet for elektronisk kommunikasjon, posttjenester og distribusjon av presse, har gjennomført et større arbeid for å kartlegge fotavtrykket fra digital infrastruktur i Frankrike. Publikasjonene av ADEME på vegne av Arcep er brukt som utgangspunkt for studiens metoder og rammer. De benyttet livsløpsanalyse (LCA) til å kvantifisere fotavtrykket av digital infrastruktur innenfor forskjellige miljøpåvirkningen kategorier, og LCA benyttes også i dette arbeidet. Figur 3-1 viser en illustrasjon av omfanget til en livsløpsanalyse.



Figur 3-1: En illustrasjon av livsløpsanalyse

I tillegg er det brukt kryssløpsanalyse og enkle beregninger basert på datatrafikk inn og ut av Norge til å kvantifisere klimafotavtrykket av elementer som faller utenfor omfanget til livsløpsanalysen. Alle metodene er nærmere beskrevet i kapittel 4.

3.2. Systemgrenser

Det er mulig å se på rammebetingelsene for norsk digital infrastruktur fra to hovedperspektiv. Den første er digital infrastruktur som *driftes* i Norge, mens den andre er digital infrastruktur som går til å *forsyne det norske samfunnet med kommunikasjons tjenester*. På enkelte områder, som for mobilnettverket, er disse perspektivene sammenfallende: mobilnettet i Norge går hovedsakelig til å drive mobilnett som brukes av folk i Norge. På andre områder, som for eksempel datasenter, er ikke disse rammene overlappede. Datasenter som fysisk befinner seg i Norge kan også yte tjenester utenlands og omvendt.

Det er mer håndfast å kartlegge infrastruktur som er i drift i Norge, og derfor er rammene for studien *digital infrastruktur i drift i Norge i 2024*. Det er derimot kjent at kommunikasjonsteknologi, særlig internett, innebærer flyt av informasjon over landegrenser. Ved å avgrense studien til infrastrukturen som driftes i Norge, mister man overblikk over norsk bruk av digital infrastruktur i utlandet (for eksempel ved å benytte strømmetjenester for video, hvor innholdet kan ligge på en utenlandsk server). Det er derfor gjort et overslag over effekten av norsk datatrafikk til utlandet, som grunnlag for diskusjon om dette. Figur 3-2 viser en skisse av systemgrensene for analysen.

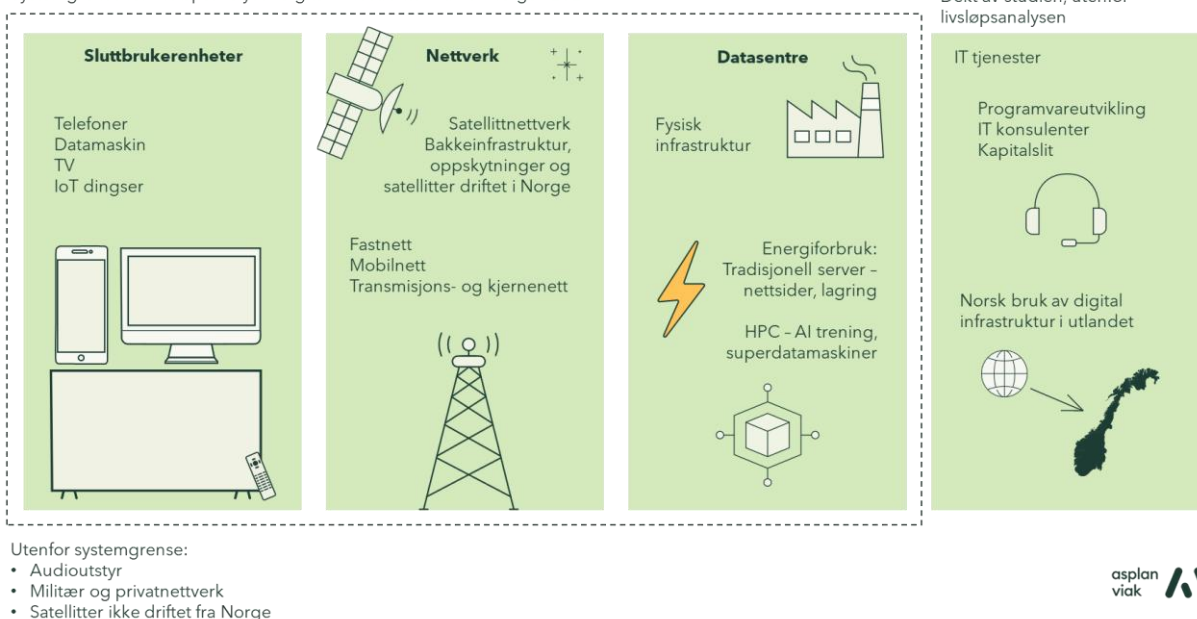
Studien omfatter digital infrastruktur både til personlig bruk og bruk på arbeidsplasser. Militære nettverk er ikke omfattet, med unntak av enkelte satellitter i drift av Forsvarets Forsknings Institutt (FFI).

Som foreslått av International Telecommunication Union (ITU), FNs organisasjon for informasjonsteknologi og telekommunikasjon, i *Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector*¹, deles digital infrastruktur inn i fire tekniske segment:

1. **Sluttbrukerenheter:** omfatter digitale enheter som har som hovedformål å muliggjøre kommunikasjon, herunder WiFi-routere, set-top bokser, IoT-enheter, bærbare og stasjonære PC, skjerm, smartklokker, mobiltelefoner, spillekonsol, nettbrett og TV.
2. **Nettverk:** omfatter tekniske installasjoner som muliggjør digital kommunikasjon, inndelt i mobil- og fastaksesnett, transmisjons- og kjernenett, og satellitter. Kringkastingssendere for TV og radio er ikke dekt.
3. **Datasentre** omfatter datasenter som opererer på norsk jord, uavhengig av hvor trafikken går til og fra.
4. **IT-tjenester:** IT-konsulenter og utvikling av programvarer; fanges opp av kryssløpsanalysen, men ikke av LCA-arbeidet. Det er derfor ikke innhentet detaljert data om dette segmentet.

¹ "Methodologies for the Assessment of the Environmental Impact of the Information and Communication Technology Sector." Telecommunication Standardization Sector of ITU, September 2018.

Systemgrense for livsløpsanalyse: digital infrastruktur i drift i Norge i 2024



Figur 3-2: Systemgrensene for analysen

Analysen har et stort omfang, og det er derfor gjort forenklinger. Vi forsøker som hovedregel å fange opp data om effekter som står for til sammen 80 % eller mer av påvirkninger. Bidrag som antas å være neglisjerbar er der det er grunnlag for å estimere at de til sammen utgjør mindre enn 20 % av de samlede klima- eller naturpåvirkningene. For eksempel har utredningen vist at rundt 95 % av fiberkabler som legges i bakken benytter gravemaskin, og alle fiberkabler er derfor modellert som om de er lagt med gravemaskin. Overordnede forenklinger, og komponenter som er kjent med utelatt, beskrives i kapittel 4, mens en mer dypgående gjennomgang finnes i appendiks 9.4 - 9.6. I følsomhetsanalyse (kapittel 7.2) er den samlede effekten av usikkerhetene i datainnsamlingen kvantifisert. Kryssløpsanalyse, som fanger opp hele klimafotavtrykket, er benyttet for å kvantifisere hvor mye som er ekskludert.

4. Metode

I dette kapittelet beskrives analysemetodene benyttet i analysen, samt metodiske valg som er viktig for sluttresultatene. Det er benyttet to analysemetoder i dette arbeidet.

Livsløpsanalyse kartlegger bestanddelene av norsk digital infrastruktur nedenfra og opp, og gir det mest detaljerte bildet av sektoren, dog med avgrensingsfeil. **Kryssløpsanalyse** egner seg for å gjøre grove, men mer fullstendige, ovenfra/ned-analyser, og benyttes til å se på telekommunikasjons-, data- og elektronikksektorene, samt spore indirekte utslipp til opprinnelsesland.

4.1. Livsløpsanalyse (LCA)

Livsløpsanalyse (forkortet LCA, fra engelske life cycle assessment) er primærmetoden for å beregne fotavtrykket av digital infrastruktur. Livsløpsanalyse tar for seg alle prosessene i et produkts liv, fra utvinning av råmaterialer til avhending ved livets slutt. Det er i denne analysen utarbeidet LCAer for de ulike komponentene i systemet før disse er aggregert opp for å anslå fotavtrykket for digital infrastruktur i Norge i 2024.

LCA-programvaren SimaPro v. 9.5.0.² er benyttet for å lage modellen. Komponenter er modellert ved hjelp av bakgrunnsdatabasen ecoinvent v.3.9.³, som er blant de største og mest anerkjente livsløpsinventardatabasene på markedet.

Det er benyttet «cut-off»- eller avskjæringstilnærming, som betyr at gevinsten av å resirkulere avfall tildeles den som benytter seg av det resirkulerte produktet. Dette har betydning for utslippene fra avhending. Med cut-off, vil utslippene være lavere enn andre metoder for fordeling av gevinst ved resirkulering, men vil ikke være negative, noe som kan oppnås ved enkelte metoder (eks. substitusjon). Et annet viktig punkt hvor denne tilnærmingen har betydning er for datasenter, hvor gevinsten ved å utnytte spillevarmen ikke har effekt på fotavtrykket fra datasentrene selv, men derimot resulterer i et redusert fotavtrykk for de som benytter seg av den aktuelle varmen.

4.1.1. Livsløpsfaser

Figur 4-1 viser livsløpsfasene som er inkludert i studien.

² [SimaPro - Sustainability insights for informed changemakers](#)

³ [ecoinvent - Data with purpose.](#)

Utvinning og fabrikasjon

A1-A3



A1 Uttak av råvarer
A2 Transport av råvarer
A3 Fabrikasjon

Distribusjon

A4



A4 Transport til kunde

Installasjon

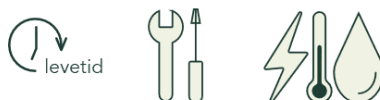
A5



A5 Arealbruksendringer
A5 Energibruk for installasjon

Bruksfase

B2, B4, B6, B7



B2 Vedlikehold
B4 Utskifting
B6 Energibruk i drift
B7 Vannbruk i drift

Avhending

C1-C4



C1 Riving
C2 Transport
C3 Avfallshåndtering
C4 Deponering

Figur 4-1 Systemgrenser og livsløpsmoduler inkludert i denne analysen

Utvinning og fabrikasjon inkluderer verdikjeden helt fra råvareuttak, transport av råvarer og fabrikasjon. Dette blir ofte omtalt som «vugge-til-port».

Installasjon er relevant både for komponenter og infrastruktur. Dette er først og fremst inkludert for infrastruktur og inkluderer energiforbruk for installasjon (f.eks. dieselforbruk i gravemaskiner for grøfting, anleggsmaskiner for planering av tomt til basestasjoner) og utslipp fra arealbruksendringer (f.eks. nedbygging av skogsareal til bebygd areal).

I denne studien er resultatene presentert med utvinning og fabrikasjon, og installasjon, slått samme til en kategori som betegnes **Produksjon**.

Distribusjon inkluderer alle transportledd fra produksjonssted til kunde.

Bruksfasen inkluderer energiforbruk i drift, vedlikehold og utskifting av komponenter over levetiden. I denne analysen er det samlet begrenset data som vedlikehold, slik at bruksfasen i hovedsak omfatter energiforbruk i drift.

Avhending omfatter demontering, transport til avfallshåndtering eller resirkuleringsanlegg, samt deponering av materialer som ikke håndteres på annet vis.

En detaljert diskusjon av antagelser for distribusjon og avhending finnes i Appendiks 9.3.

4.1.2. Strømmiks

Strømforbruk i bruksfasen er en vesentlig del av påvirkningen til digital infrastruktur. Det er mulig å se miljøpåvirkningen til strømforbruk i Norge fra ulike perspektiv. Strømmen produsert i Norge er hovedsakelig vannkraft og har lavt klimafotavtrykk per produsert kWh over levetiden. Samtidig er Norge tett knyttet til kraftmarkedet i resten av Europa, slik at eksport av norsk strøm bidrar til å redusere miljøbelastningen til kraftmarkedet som en helhet ved å fortrenge behovet til å produsere strøm fra fossile kilder andre steder i Europa.

I dette arbeidet er disse to perspektivene ivaretatt ved å gjøre alle beregninger med to ulike strømmikser, **lokasjonsbasert** og **markedsbasert**, basert på GHG-protokollens prinsipper⁴. Ifølge GHG-protokollen skal direkteutslippene fra forbrenning av drivstoff til strømforbruk rapporteres i scope 2, mens utslipp fra tap og distribusjon og oppstrøms utslipp (utvinning, produksjon og transport av drivstoff forbrukt i strømproduksjon) rapporteres i scope 3. Utslippsfaktorer for strøm benyttet i denne studien inneholder derimot full livsløpsvurdering, altså summen av bidrag fra både scope 2 og 3 for strøm, samt infrastrukturbidrag fra for eksempel utslipp fra utbygging av vannkraftverk over forventet levetid. Dette er gjort for å være i tråd med LCA-metodikken og for å ha konsistente systemgrenser gjennom hele analysen, men omfatter mer enn det som er spesifisert som minimumsgrensene i GHG-protokollen.

For både lokasjonsbasert og markedsbasert strømmiks er modellen basert på en gjennomsnittlig strømproduksjon og restmiks for årene 2018-2022, modellert av Asplan Viak med prosesser fra ecoinvent. Det lokasjonsbaserte strømmiksen i Norge utvikler seg i liten grad fra år til år ettersom det er hovedsakelig vannkraft, mens restmiksen endrer seg i takt med avkarboniseringen til strømmarkedet i Europa.

Med lokasjonsbasert perspektiv legges den fysiske elektrisitmiksen som forbrukes i en region til grunn. I Norge er dette hovedsakelig vannkraft, men inneholder også import av strøm fra andre europeiske land. Data fra ENTSO-e⁵ benyttes for å tallfeste fordelingen av ulike produksjonsteknologi for strøm, samt import fra andre land. Den lokasjonsbaserte strømmiksen benyttet i denne studien har en utslippsfaktor på 49,7 gram CO₂e/kWh.

Med markedsbasert perspektiv tar man hensyn til kjøp og salg av opprinnelsesgarantier for strøm. Opprinnelsesgarantisystemet er et økonomisk system som tillater aktører å kjøpe fornybar strøm på tvers av Europa.⁶ Med markedsbasert prinsipp for utslippsberegning får man utslipp tilsvarende fornybar kraft for alle kWh man har kjøpt

⁴ [Homepage | GHG Protocol](#)

⁵ [European Network of Transmission System Operators for Electricity](#)

⁶ [Opprinnelsesgarantier og varedeklarasjon for strømleverandører - NVE](#)

opprinnelsesgarantier for, mens strøm det ikke er kjøpt garantier for, får en utslippsfaktor tilsvarende *europesk* restmiks. Restmiksen er all europeisk strøm som er produsert, men som det ikke er utstedt garantier for, det vil si hovedsakelig fra fossile kilder.

Det ble kjøpt opprinnelsesgarantier for 28 % av strømmen brukt i Norge i 2023, slik at markedsmiksen brukt i denne modellen består av 72 % restmiks (for hele Europa) og 28 % fysisk miks. Mange aktører i datasenter- og telekommunikasjonsindustrien velger å kjøpe opprinnelsesgaranti, men da det ikke er tilgjengeliggjort data om hvor mye strøm dette gjelder, velger vi å anta gjennomsnittlig kjøp av opprinnelsesgarantier for all markedsbasert strøm. Dette gir en utslippsfaktor på 412 gCO₂e/kWh, som er nesten ti ganger så stort som den lokasjonsbaserte strømmiksen. Som resultatene viser, gir valg av strømmiks kraftig utslag på fotavtrykket. Merk at strømmiksen i denne analysen beregnes med prosesser i ecoinvent som inneholder full livsløpsvurdering, slik at faktorene ikke vil sammenfalle nøyaktig med faktorene av NVEs varedeklarasjon,⁷ som kun tar for seg på direkteutslipp.

4.1.3. Miljøpåvirkningskategorier

Livsløpsanalyse har som fordel at flere klima- og naturpåvirkningskategorier kan analyseres i samme modell. En påvirkningskategori kan fange opp effekten av flere typer utslipp. Påvirkningen er derfor ofte uttrykt i form av ekvivalenter, hvor ulike stoffer regnes sammen til et enkelt tall som beskriver påvirkningen.

For eksempel, for klimagassutslipp er enheten CO₂-ekvivalenter, som består av den samlede påvirkningen til utslipp av CO₂, N₂O, CH₄, og diverse andre klimagasser over et gitt tidsperspektiv, vanligvis 100 år. Utslipp av disse klimagassene blir da omregnet til tilsvarende mengde CO₂-utslipp, ved at hver klimagass blir gitt en ekvivalensfaktor (for eksempel er 1 kg metan forutsatt å tilsvare 28 kg CO₂). Slik kan klimabidragene fra utslipp av ulike klimagasser med vidt forskjellige egenskaper summeres til en tilsvarende mengde CO₂-utslipp. Samme prinsipp er brukt for å omregne ulike drivere til en felles referanseenheter innenfor de andre klima- og naturpåvirkningene.

Det finnes flere metoder for å beregne klima- og naturpåvirkning, deriblant Environmental Footprint (EF)-metoden,⁸ Recipe,⁹ og LC-impact¹⁰. Det er her valgt å benytte EF 3.1-

⁷ [Varedeklarasjon for strømleverandører - NVE](#)

⁸ [JRC Publications Repository - Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method](#)

⁹ Huijbregts M. A. J., Steinmann Z. J. N., Elshout P. M. F., Stam G., Verones F., Vieira M., Zijp M., Hollander A. and van Zelm R. (2017) ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. In: Int J Life Cycle Assess, 22(2), pp. 138-147, 10.1007/s11367-016-1246-y, tilgjengelig fra: <https://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.

¹⁰ Beskrivelse av metoden er tilgjengelig fra: <https://lc-impact.eu/>

metoden, som har fordel av at den er nylig oppdatert og benytter faktorer fra den nyeste IPCC-rapporten.

I tillegg er det tatt ut resultater på noen andre påvirkningskategorier for å komplementere resultatene fra EF 3.1-metoden og dekke hovedområdene man ønsker å belyse: klimaendringer, materialforbruk, energiforbruk og natur i form av arealbeslag. Tabell 4-1 gir en oversikt over klima- og naturpåvirkningene som er analysert som en del av studien, hvor noen kommer fra EF-metoden og andre havner utenom.

Tabell 4-1: Følgende klima- og miljøpåvirkningskategorier er presentert

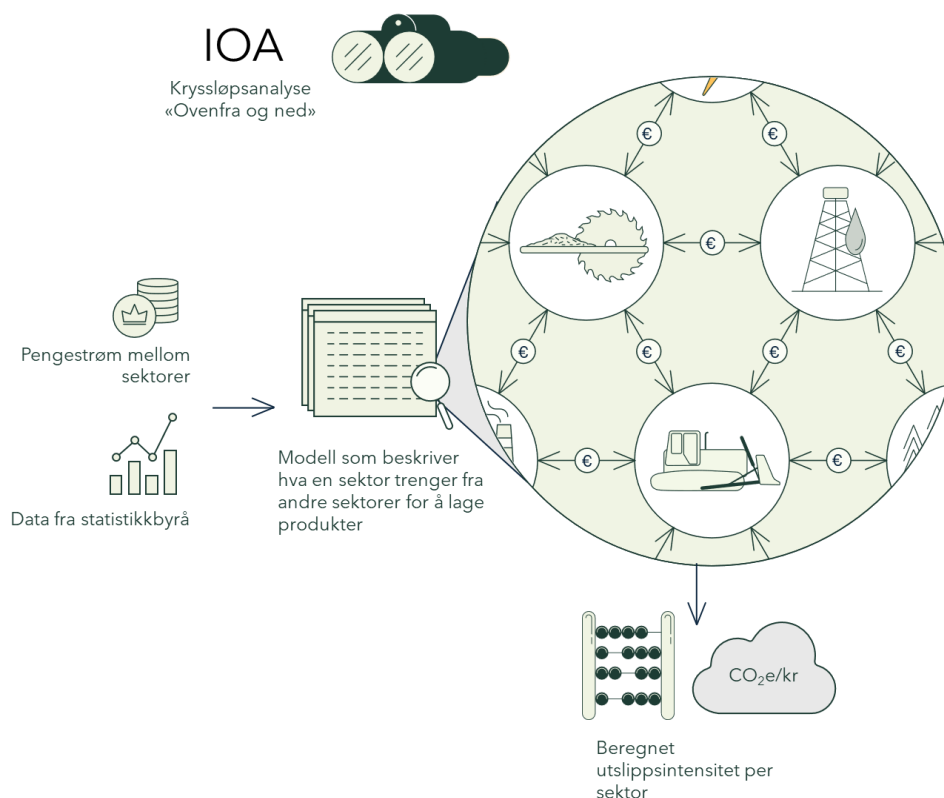
Kategori	Enhet	Beskrivelse
Ressursbruk, mineraler & metaller	kg Sb-eq	Uttak av sjeldne mineraler og metaller, vektet i forhold til ressursknapphet og uttrykk i kilo antimon-ekvivalenter
Ressursbruk, fossilt	MJ	Forbruket av ikke-fornybare energikilder som bensin, naturgass, osv., uttrykk i megajoule.
Klimaendringer	kg CO ₂ eq	Total mengde klimagasser sluppet ut av systemet, gjennom hele livsløpet.
Klima og miljøpåvirkningskategorier som ikke kommer fra EF 3.1-metoden		
Materialfotavtrykk	kg	Total mengde materialer brukt i systemet, gjennom hele livsløpet. Beregnet i absolutt masse, uten omregning til noe form for ekvivalenter. Mengden er beregnet i Simapro ved å kjøre ut resultater for inventaret («inventory» under resultater i programvaren)
Klimagassutslipp fra arealbruksendringer	kg CO ₂ eq	Klimagassutslipp fra arealbruksendringer er beregnet basert på Miljødirektoratets arealbrukskalkulator ¹¹ .
Klima- og miljøpåvirkningskategorier som er kvantifisert utenom LCA modellen		
Samlet energiforbruk	kWh	Energiforbruk i bruksfasen, samlet per tekniske segment
Beslaglagt areal	kvm	Som en indikator på miljøpåvirkning er beslaglagt areal i Norge, estimert per teknisk segment

4.2. Kryssløpsanalyse

Miljøutvidet kryssløpsanalyse (ofte forkortet IOA, fra engelske *input-output assessment*), er en makroøkonomisk metode som bruker offentlig statistikk, som tilgangs- og anvendelsestabeller, for å lage en modell over økonomisk aktivitet i en eller flere regioner. Det finnes en håndfull store kryssløpsanalyse-databaser som dekker regioner både innenfor og utenfor Europa og sporer handel mellom sektorer i forskjellige økonomier. Ved å inkludere utslippsdata per sektor, kan en kryssløpsmodell spore utslipp forbundet

¹¹ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/beregne-effekt-av-ulike-klimatiltak/>

med både produksjon og import av varer fra ulike sektorer. For eksempel kan den spore utslipp knyttet til Norges telekommunikasjonssektor og identifisere både nasjonale og internasjonale kilder. Modellens styrke ligger i å fange opp indirekte effekter. For eksempel, hvis telekommunikasjonssektoren er avhengig av innsatsvarer fra Kinas gruvesektor, vil utslippene fra gruvedrift inkludere utslipp fra produksjon av gruveutstyr og transport av råvarer. I tillegg vil sektorene som leverer til gruveindustrien ha sine egne produksjonsutslipp.



Figur 4-2: En forenklet illustrasjon av kryssløpsanalyse

LCA er godt egnet til å fange opp detaljerte utslippsbidrag for spesifikke produkter, men inneholder til gjengjeld avgrensningsfeil (engelsk: truncation errors) siden systemet bygges nedenfra og opp, og vil derfor aldri være fullstendig. Til sammenligning er kryssløpsanalyse mindre detaljert, men gir med sitt ovenfra-ned-perspektiv fullstendige resultater for hele forsyningskjeden, inkludert alle indirekte effekter.

Kryssløpsanalyse lar oss komplementere våre fotavtrykkestimater og fange den miljømessige påvirkningen av Norges digitale infrastruktur, og modellene lar oss spore utslippsbidrag fra ulike land og sektorer. IOA benyttes derfor å til å gjøre overslag over klimafotavtrykket fra en hel sektor, og analysere i hvilke land og sektorer indirekte utslipp importeres fra, samt for å validere LCA-resultatene og fange opp eventuelle mangler.

4.2.1. Database

Modellen vi bruker er en flerregional miljøutvidet kryssløpsmodell, i hovedsak basert på FIGARO¹², som er Eurostats egen kryssløpsdatabase. Den modellerer verdensøkonomien inndelt i 46 regioner. Dette inkluderer alle 27 EU-land, 18 andre land som representerer EUs viktigste handelspartnere (inkludert Norge), samt en samleregion som representerer resten av verden («rest of world» - forkortet RoW). I FIGARO-modellen tilsvarer kategorien RoW rundt 10 % eller mindre av global BNP og handel. Landene som inngår i denne kategorien er likevel ofte viktige leverandører av råvarer, noe som kan føre til at RoW-regionen gir betydelige bidrag til klimaavtrykket for produkter som er avhengige av disse materialene for produksjon.

Den økonomiske aktiviteten i hver region og handel mellom regionene er representert ved 64 konkrete sektorer/bransjer per region, inndelt etter NACE-systemet.¹³ En oversikt over NACE sektorer finnes i Appendiks 9.8. FIGARO-databasen har årlige tabeller fra 2010, og blir årlig oppdatert med nye tabeller, med en tidsforsinkelse på 2 år. Det er hyppigere enn andre multiregionale kryssløpsanalysedatabaser. Nyeste versjon av FIGARO har tall for 2022.

4.2.2. Kapitalslit

I kryssløpsmodellen brukt i denne analysen forsøker vi også å ta hensyn til verdiforringelsen av faste eiendeler som følge av normal slitasje og foreldelse (kapitalslit) og inkluderer dette i utslippsanalysen. Kapitalslit er knyttet både til aktivitet i sektorer som bygg og anlegg, og fysisk inventar som IKT-utstyr og maskineri, samt immateriell realkapital som programvarer, databaser, forskning og utvikling. Kapitalen som fanges opp av kapitalslit i kryssløpsanalyse, er også indirekte kapital som for eksempel maskineriet som brukes til å produsere IKT utstyr i et annet land.

Tidligere studier¹⁴ på endogenisering av kapital har vist at når kapitalslit inkluderes, økes det samlede klimafotavtrykket med opp til 57% på landsbasis. Økningen er størst for tjenesteytende sektorer.

¹² [Overview - Eurostat](#)

¹³ FIGAROs 64 sektorer er klassifisert etter NACE-systemet, som også SSB baserer seg på i tabellene i nasjonalregnskapet. Se <https://www.ssb.no/klasse/klassifikasjoner/6> for definisjoner av SSBs standarder for næringsgrupperinger, som er mer eller mindre direkte basert på NACE-systemet

¹⁴Södersten et al., "Endogenizing Capital in MRIO Models: The Implications for Consumption-Based Accounting," *Environmental Science & Technology* 52, no. 22 (November 20, 2018): 13250–59, <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02791>

4.2.3. Relevante sektorer

For analysen av fotavtrykket fra den digitale infrastrukturen i Norge brukte vi to relevante industrier fra FIGARO-rammeverket:

- **C26 - Produksjon av data-, elektronikk- og optiske produkter**, inkludert produksjon av datamaskiner og periferiutstyr, kommunikasjonsutstyr og forbrukerelektronikk.
- **J61 - Telekommunikasjon**, inkludert aktiviteter for kablet og trådløs kommunikasjon, satellittkommunikasjon og andre telekommunikasjonsaktiviteter (f.eks. satellittsporing, satellittstasjoner, levering av internett- og telefonitjenester). Sektordekningen utfyller nedenfra-og-opp LCA-utslippsanalysen ved å inkludere tjenester og produkter som ikke dekkes av LCA, men som er viktige for Norges digitale infrastruktur.

Sektoren J62/63 (IT- og informasjonstjenester) er også relevant for digital infrastruktur, men ble utelatt for å unngå dobbelttelling av utslipp. Analysen av telekommunikasjonssektoren (J61) inkluderer alle direkte og indirekte utslipp knyttet til leveranse av kommunikasjonstjenester i Norge, og dermed også aktiviteten i sektor J62/63 som utgjør innsatsfaktorer til sektor J61 for dette formålet.

Klimafotavtrykket fra IT tjenester er kvantifisert ved å trekke resultatene fra LCA analysen for nettverk, med kryssløpsresultatene for telekommunikasjon, hvor forskjellen er antatt til å hovedsakelig bestå av tjenester.

5. Datainnsamling

De viktigste datakildene og antagelsene er oppsummert i det følgende. Videre detaljer finnes i Appendiks 9.4 - 9.6, som i hovedsak er rettet mot de som ønsker å gjenskape LCA-modellen.

Fotavtrykket fra digital infrastruktur for et år kan enten vurderes ved å se på alle enheter og infrastruktur kjøpt og bygd ut i det aktuelle året («flow»- eller gjennomstrømmingsmetoden) eller ved å se på all infrastruktur som er i bruk, men fordelt over det forventede livsløpet til infrastrukturen («fleet»- eller flåtemetoden)¹⁵. Det er enklere å samle data for en analyse med gjennomstrømmingsmetoden, mens flåtemetoden gir et mer komplett bilde av hva som faktisk er i bruk, dog med større usikkerhet. I samråd med Nkom er det besluttet å gjennomføre denne analysen ved å bruke flåtemetoden.

For å samle inn data er det gjennomført samtaler med eksperter innenfor de ulike tekniske segmentene for å kartlegge hvilke teknologier som er mest utbredt og derfor relevant å modellere. I tillegg er det gjennomført litteraturstudie av miljøanalyser på de ulike segmentene. Vi har forsøkt å skaffe primærdata direkte fra de relevante aktørene (for eksempel tårnselskapene for mobilnett, datasentre, osv.). I de tilfeller hvor dette ikke har lyktes er det benyttet annen statistikk. Der det ikke fantes data for 2024 er nyeste tilgjengelige data framskrevet til 2024. En vurdering av datakvalitet i analysen finnes i Appendiks 9.1.

5.1. Sluttbrukerenheter

Sluttbrukerenheter omfatter enheter som brukes av individer med hovedformål å gjennomføre digital kommunikasjon, både for privatpersoner og bedrifter. For hver type sluttbrukerenhet er det kartlagt antall enheter i bruk, strømforbruket per enhet per år, og anslått levetid. Tabell 5-1 viser nøkkeltall for alle kategoriene med sluttbrukerenheter som er omfattet av analysen.

Tabell 5-1: Nøkkeltall for sluttbrukerenheter

Type enhet	Antall i bruk i 2024 [tusen]	Levetid	Årlig strømforbruk per enhet
Mobiltelefon	6 074	3,2 år	8 kWh
Nettbrett	1 984	3 år	19 kWh
Datamaskin (stasjonær)	2 219	6 år	113 kWh

¹⁵ Louise, AUBET, RABOT Anne, BITARD Léa, and RIOLO Constant. "Evaluation of the Environmental Footprint of Internet Service Provisioning in France." ADEME, March 2024.

Type enhet	Antall i bruk i 2024 [tusen]	Levetid	Årlig strømforbruk per enhet
Datamaskin (bærbar)	5 127	5 år	23 kWh
Skjerm	3 879	6 år	57 kWh
TV	2 586	8 år	277 kWh
Spillkonsoll	1 065	6,5 år	56 kWh
Smartklokker	3 350	3 år	1 kWh
IoT-enheter	62 900	10 år	0,014 kWh
Set-top-bokser	2 044	5 år	43 kWh
Router	3 829	5 år	85 kWh

For å finne antall enheter i bruk er det brukt importstatistikk fra Tollvesenet, bransjestatistikk fra Elektronikkbransjen¹⁶ og abonnentstatistikk fra Nkom. Der hvor statistikkene overlapper er statistikken som gir høyest antall enheter i bruk benyttet, med unntak av IoT-enheter hvor et snitt av flere estimer er brukt. En detaljert diskusjon av datakildene og antagelser finnes i Appendiks 9.4.

Følgende sluttbrukerenheter er ekskludert:

- Featurephone («dumtelefon») & fasttelefoner, da antallet av disse antas å være forsvinnende liten. Alle telefoner er antatt å være smarttelefoner.
- Radio, utstyr for to-veis satellittkommunikasjon, docking-stasjoner, prosjektorer, skrivere, eksterne harddisker og USB-nøkler er ekskludert på grunn av manglende datagrunnlag.
- Audioutstyr som høyttalere og hodetelefoner er utelatt ettersom hovedformålet ikke er kommunikasjon.

5.2. Nettverk

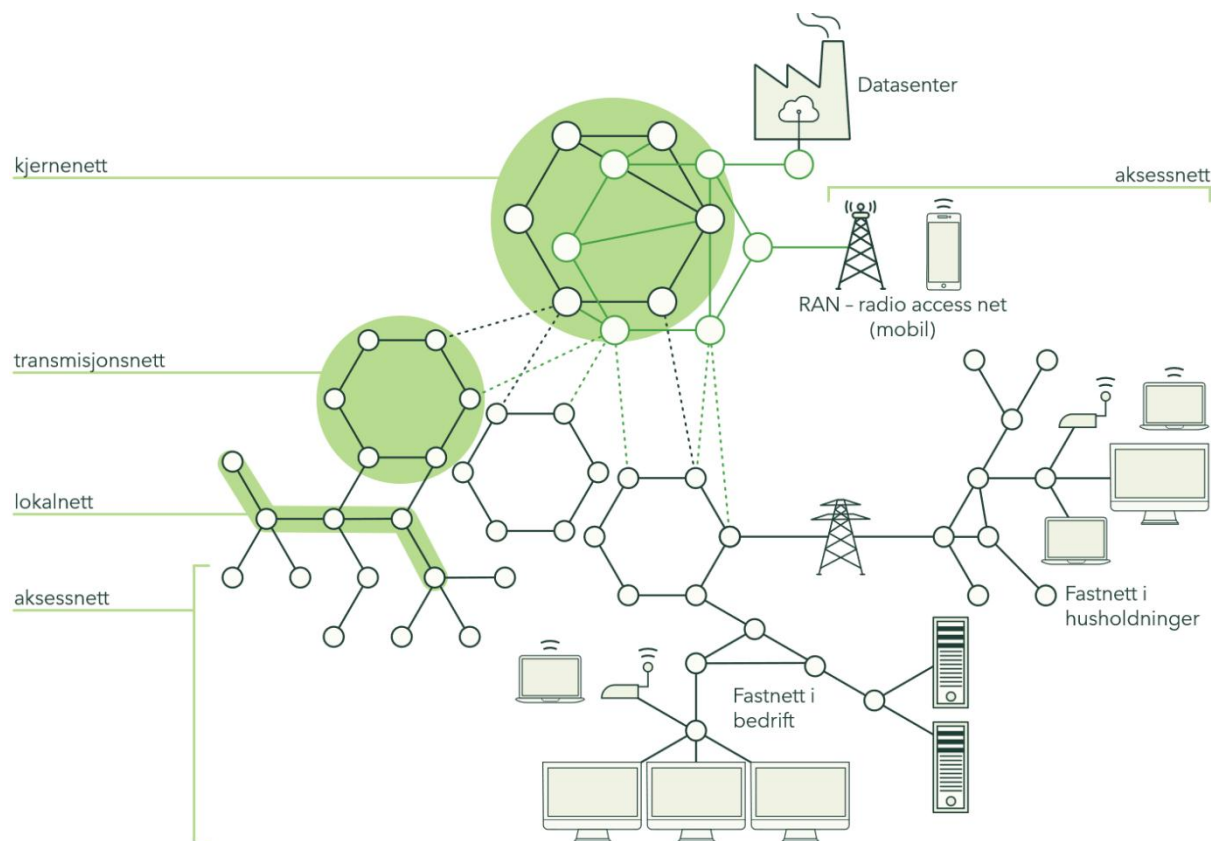
Studien omfatter fastnett, mobilnett og satellitter. Det er sannsynlig at deler av frekvensområdet som i dag brukes av TV (via bakkenettet) og produksjon av lyd og bilde, vil bli tilgjengelig for mobilkommunikasjon etter 2030. Derfor har man valgt å ikke inkludere miljøpåvirkningene fra TV-kringkasting i denne vurderingen.¹⁷ Mobil- og fastnett har til dels sammenfallende infrastruktur, slik at vi først beskriver oppbyggingen av et kommunikasjonsnettverk før vi beskriver modellen.

¹⁶ [Bransjetall og statistikk](#)

¹⁷ [Frekvensbehov mot 2030 - Nkom](#)

5.2.1. Oppbygning av kommunikasjonsnettverk

Et kommunikasjonsnettverk består grovt sett av tre lag, som vist i Figur 5-1. Det ytterste laget, som kalles **aksessnett**, er tilkoblingen mot sluttbrukerutstyr for fastnett og basestasjoner for mobilnett (også kalt radioaksessnett / RAN). Aksessnettet består som regel av en fiberoptisk kabel per aksesspunkt samt en rekke typer av elektronisk utstyr.



Figur 5-1: Forenklet tegning av et kommunikasjonsnettverk

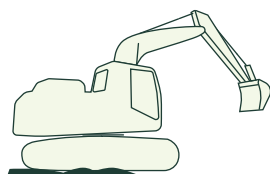
Det midterste laget, kalt **transmisjonsnett**, fører kommunikasjonssignaler fra et noderom og videre i nettverk. Det innerste laget, kalt **kjernenettet**, er den delen av nettverket som er koblet mot datasenter. I datasenter lagres data som kan hentes ut via internett; datasenter er modellert som et separat segment.

Transmisjons- og kjernenettet er kjennetegnet av ringstrukturer, og består av mengder med fiberoptiske kabler og elektronikk som forsterker og fordeler signaler til riktig sted i nettet.

Det er stor grad av overlapp mellom transmisjons- og kjernenettet for mobil- og fastnett i Norge. I modellen er dermed aksessnettet modellert separat for mobilnett og fastnett, mens transmisjons- og kjernenettet er modellert som en felles enhet.

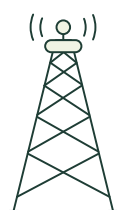
5.2.2. Fiberoptiske kabler

Fiberoptiske kabler er en viktig komponent i nettverk, og inngår i alle lagene i nettverk. Telenor disponerer fortsatt et nettverk av kobberkabler, som skal tas ut av drift i 2025, men disse er ikke lenger aktivt i bruk og neglisjeres derfor i denne studien.



Fiberoptiske kabler kan installeres i grøfter, i luft eller i sjø. For grøfter kan en benytte seg av flere ulike teknikker og maskiner for å legge fiber, avhengig av lokale forhold og krav. Trenching, fiberplog og gravemaskin er mulige metoder, hvor gravemaskin er den mest klimaintensive metoden¹⁸. Ifølge tårnselskapene er det i hovedsakelig gravemaskin som brukes. Trenching benyttes i 3-5 % av tilfellene fiberoptiskekabel legges, og fiberplog i enda mindre grad. Det er derfor antatt at alle kabler som legges i grøfter er lagt med gravemaskin.

5.2.3. Mobilnett



Mobilnettet eller radioaksessnettet består av en rekke basestasjoner som er tilknyttet transmisjons- og kjernenettet via fiberoptiske kabler. For mobilnett tas det hensyn til 2G-, 4G- og 5G-teknologier, hvor forskjellene ligger i energiforbruket og type antenner benyttet. En **lokasjon** er et fysisk sted hvor det finnes en eller flere **basestasjoner** driftes av en mobiloperatør. En basestasjon kan støtte 2G, 4G eller 5G, eller en kombinasjon av de tre. Når flere mobiloperatørers basestasjoner er samlokalisert på samme fysiske lokasjon, deler de mye av infrastrukturen på stedet (mast, energiforsyning osv.).

I modellen skiller vi mellom basestasjoner som er montert på bygninger («rooftop sites», gjerne i tettbygde strøk) og frittstående basestasjoner («green field») som er montert på mast med tilhørende hytte.

Fra Nkoms database over sendere er det funnet 17 414 unike lokasjoner for basestasjoner i Norge, og det er anslått at 54 % av disse lokasjoner er på bygninger, mens 46 % er frittstående.

Flere mobiloperatører kan ha basestasjon på samme fysiske lokasjon, kalt samlokalisering. Statistikk fra Nkoms database over sendere viser at 26 % av lokasjonene har mer enn én operatør, hvorav 16 % har to og 10 % har tre operatører, noe som gir 1,36 basestasjoner per lokasjon i snitt, eller 23 683 basestasjoner til sammen. Komponentene som er modellert for hver lokasjon er oppsummert i Tabell 5-2.

¹⁸ Eric Rambech and Valentin Vandenbussche, “Klimafotavtrykk Fra Utrulling Av Fiber” (Endrava, December 28, 2022), https://ikt-norge.no/wp-content/uploads/Endrava-Rapport-Klimafotavtrykk-av-utrulling-av-fiber_rev01.pdf.

Tabell 5-2: Komponentene som er inkludert i modellen for en lokasjon (mobilsite)

Komponent	Frittstående	Takmonterte
Likeretter 220 V til 48 V	Én per lokasjon	Én per lokasjon
Blybatterier	2 batteristrenger, 4 batterier per streng. 155 Ah per streng.	Som for frittstående
Stativ (rack) for elektronikk	Standard serverrack 19 tommer	Som for frittstående
Baseband unit (BBU)	1 per lokasjon per operatør; gjennomsnittlig 1,36 per lokasjon. Modellert basert på Nokia AirScale BTS.	Som for frittstående
Fiberoptiske kabler BBU til mast	25 meter	Som for frittstående
Mast	20 - 30 m	-
Påle/oppheng	-	1 stk; antatt 30 kg per stk
Coax-kabel RRH til antenne	2-5 meter; antatt 5 meter	Som for frittstående
Aktive antenner (med integrert remote radio head RRH/RRU)	12 per site	Som for frittstående
Hytte	10 m ² bygg i betong	-
Utendørsskap	-	1 stk
Kjølesystem	1 stk	1 stk
Strømkabel	Antatt 200 meter dedikert til basestasjon	-

Energiforbruk i mobilnettet er samlet inn fra to av operatørene, og estimert samlet for hele mobilnettet. Det vil si at energiforbruk per komponent modelleres ikke eksplisitt, og at effektiviteten til de ulike teknologiene (2G/4G/5G) ikke er reflektert i modellen. Basert på antallet basestasjoner per operatør er det totale energiforbruket for mobilnettet (aksess) estimert. Gjennomsnittlig årlig energiforbruk pr. basestasjon er estimert til 16 100 kWh. På grunn av samlokalisering vil gjennomsnittlig forbruk per lokasjon være høyere enn energiforbruk per basestasjon, slik at det totale energiforbruk er estimert til 310 GWh i 2024.

Datatrafikken i mobilnettet var 906 PB i 2023, og er forventet å øke til 1000 PB ved årsslutt i 2024, basert på Ekomstatistikken.¹⁹

Arealbruk inngår også i modellen, både i form av direkte arealbeslag (m² som bygges ned på grunn av bygg og annen infrastruktur) og i form av netto klimagassutslipp knyttet til utslipp og opptak. Se Appendix 9.3.2 for mer informasjon om denne delen av metoden.



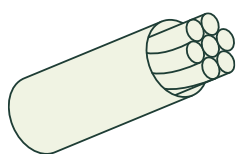
¹⁹ [Ekomstatistikk - Nkom](#)

Det gjøres en forenkling hvor det antas at alle basestasjoner som bygges med hytter og mast etableres på tidligere skogareal. Areal for hytte og mastefundament er antatt å være ca. 15 m²²⁰, i tillegg vil det typisk medføre et areal utover dette som bygges ned. Det antas dermed totalt 25 m² per lokasjon. Disse arealene er som nevnt kun direkte arealbeslag. I tillegg vil det være et betydelig større areal som vil være påvirket. Eksempelvis vil arealet bli betydelig større hvis en tar hensyn til arealet som omslutes av bardunene til et frittstående tårn. Videre vil arealet som påvirkes («impact zone») kunne være enda større.

Følgende komponenter er ekskludert fra modellen:

- Tilsluttet vei – de fleste lokasjoner bygges uten tilsluttet vei, hvor materialer fraktes med helikopter eller skuter, slik at vi antar at mengde med tilsluttet vei bygd til lokasjoner er neglisjerbart.
- Vedlikehold – det er kjent at lokasjoner vedlikeholdes i hovedsak med helikopter- og scootertransport, men det er ikke samlet inn data som tillater å modellere dette. Det er estimert at utelatelsen tilsvarer 4% av utslippene, se Appendiks 9.5.1.8 for videre detaljer.

5.2.4. Fastnett



Nkom har anslått lengden av føringsveier i fibernettet basert på en kartanalyse. Kartanalysen tar utgangspunkt i alle adresser med fiber og en forutsetning om at fiberen er lagt langs vei på kortest mulig måte.

Fiberen langs veien benevnes aksessmeter. I tillegg er det lagt til den korteste avstanden fra vei til hus med fiber i veggen. Estimater er deretter kalibrert basert på data fra Viken fiber. Videre er det justert for å ta høyde for at mye av nettet ligger i mer spredtbygde strøk samt sjøkabler. Det understrekes at estimatet er usikkert.²¹ Totalt er det estimert 165 000 km med aksessnett.

I tillegg er det tatt med komponenter per fiberkunde som oppsummert i Tabell 5-3 og beskrevet nærmere i Appendiks 9.5.2. Det er 2,6 millioner internettabonnenter, hvorav 1,9 millioner fiberabonnenter, i Norge i 2024. Tallene omfatter både bedrifter og privatpersoner.

²⁰ [052621.-21-3506.-disp.-gran.-telemast-telia--19-2-vesentlig-tilsidesettelse-solvsberget-Inf.pdf](#)

²¹ Sannsynligheten for at den reelle lengden er mer enn dobbelt så stor er veldig liten. Sannsynligheten for at det reelle er mer enn 30 prosent lavere er liten.

Tabell 5-3 Hovedkomponenter i aksessnett, fastnett.

Komponent	Antagelse
Hjemmesentral / Optical Network Terminal (ONT)	1 per kunde
Fiberoptisk mikrokabel i rør (dedikert per kunde)	Gjennomsnitt kabellengde: 87 meter per kunde ²² Forhold meter grøft: meter kabel: 0,25
Fordelingsskap	1 per 20 kunder
Noderom	Ca. 10 m ² ; 1 per 1000 kunder
Aksessrouter, noderom	3-4 per noderom
Batteribank og likeretter, noderom	Tåler 6 timer strømskifte; ca. 300 Ah totalt per noderom (8 batteri, 12 V) 1 likeretter

For **datatrafikk** i fastnettet er det ingen offisiell statistikk, fordi nettverksleverandører dimensjonerer utstyret med tanke på maksimal trafikk per tidsenhet (peak Tbit/s), og ikke total mengde datatrafikk. Basert på grove estimater fra fastnettleverandørene er trafikken i fastnettet i 2024 anslått til 21 000 PB.

For å modellere **energiforbruk** i fastnettet skilles det på energiforbruk for



hjemmesentraler (også kalt Optical Network Terminal ONT) som skaleres basert på antall abonnenter og energiforbruk samlet for fastnettet ellers. Basert på ADEME-rapporten for internettjenester²³ anslås det at hjemmesentraler har et forbruk på 35 kWh/år/enhet. For energiforbruk i fastnettet estimeres forbruket basert på en studie av energiforbruk i telekommunikasjonsnettverk fra Finland²⁴ som anslo totalt energiforbruk til 650 GWh, hvorav 60 % av forbruket er i mobilnettet, 20 % i fastnettet og 20 % i transmisjons- og kjernenettet. Med 310 GWh forbruk i mobilnett i Norge, gir dette grovt sett 100 GWh i henholdsvis fast- og transmisjons- og kjernenettet. Tilsvarende størrelsesorden er funnet i studier av energiforbruk i telekommunikasjonsnettet i Sverige²⁵, mens VHK & Viegand Maagøe (2020) ICT Impact study²⁶ estimerer en noe mindre andel av energiforbruk i kjerne-/transmisjonsnettet på 13%.

²² 165 000 km totalt fordelt på 1,9 millioner kunder totalt. Til sammenligning anslår denne rapporten [Analysys Mason document](#) ca. 300 meter fibernett per kunde utenfor tettsteder.

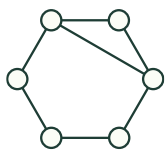
²³ AUBET Louise et al., "Evaluation of the Environmental Footprint of Internet Service Provisioning in France" (ADEME, March 2024).

²⁴ <https://www.traficom.fi/en/news/first-study-energy-consumption-communications-networks>

²⁵ [Life Cycle Assessment of ICT - Malmödin - 2014 - Journal of Industrial Ecology - Wiley Online Library](#)

²⁶ [IA report-ICT study final 2020 \(CIRCABC\).pdf](#)

5.2.5. Transmisjons- og kjernenettet



Nkom har anslått lengden av føringsveier for transmisjons- og kjernenettet inkludert føringsveier til mobillokasjoner. Estimater er basert på data for fiberlengder i alt nettet Telenor har (inkl. sjøkabler), modellen for estimering av fiberlengder i aksessnettet (beskrevet i kap. 5.2.4), samt en skalering basert på antatt km fiber hos aktørene (Telenor, Telia, GlobalConnect og Lyse). Det understrekes at estimatet er usikkert.²⁷ Totalt er det estimert at mengden kabel i transmisjons- og kjernenettet og samt føringsveier til basestasjonene er 132 000 km. Dersom vi legger til omtrent 3 000 km for resten (Helsenett, Avinor, Sikt, Forsvaret og andre) er det totale estimatet 135 000 km. Det er ikke mulig å skille ut hvor mange km av dette som er føringsveier til mobillokasjoner.

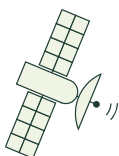


For **energiforbruk** i transmisjons- og kjernenettet brukes samme metode som for fastnettet, som gir ca. 100 GWh årlig strømforbruk.

Følgende komponenter er ekskludert fra transmisjons- og kjernenettet på grunn av manglende data:

- Aggregeringsroutere, aggregeringsmultiplexer, kjerneroutere og kjernemultiplexere.

5.2.6. Satellitt



Satellitt skiller seg fra fast- og mobilnett ved at infrastrukturen som befinner seg i eller driftes fra Norge ikke nødvendigvis overlapper med det som benyttes av innbyggere til kommunikasjon. Omfanget av studiet er definert som infrastruktur i Norge, og for satellitter har vi valgt å utvide dette til bakkeinfrastruktur i Norge inkludert Svalbard, samt satellitter som eies av norske virksomheter.

Det er ikke et én-til-én-forhold mellom bakkestasjonene og satellittene som er kartlagt; satellittene kommuniserer med bakkestasjoner som ikke er omfattet av modellen, og bakkestasjonene kommuniserer med satellitter som ikke er omfattet av modellen.

²⁷ Sannsynligheten for at den reelle lengden er mer enn dobbelt så stor er veldig liten. Sannsynligheten for at den reelle er mer enn 30 prosent lavere er liten.

ITU har gjennomført en casestudie på et hybrid bredbånd satellittsystem²⁸, som er benyttet som utgangspunkt for inventaret. Vi skiller mellom å analysere livsløpet til en satellitt og en bakkestasjon. En bakkestasjon benyttes til å kommunisere med en satellitt, ta ned data og dele dataene videre med relevante aktører.

En bakkestasjon består av én eller flere antenner med tilhørende utstyr, tilsluttede veier og fiberkabler, og en mission operations center (MOC), med tilhørende datasenter som prosesserer data fra satellittene og sender det videre til sluttbrukeren. I samråd med KSAT, som drifter flertallet av antennene i Norge, er det definert et forenklet inventar per antenne, som er gjengitt i Appendiks 9.5.3.1. Antall antenner modeller er oppgitt i Tabell 5-4.

Tabell 5-4: Satellittantenner tatt hensyn til analysen

Plassering	Antall antenner
Fastlandet	97
Svalbard	151
Antarktis	23

Strømforbruket for antenne er estimert ved å anta at hver antenne brukes til å kommunisere med satellitter i 30 pass på 10 min hver dag, som tilsvarer at de kjøres 20 % av tiden. Et pass er når en antenne kommuniserer med en satellitt som befinner seg innenfor antennens dekningsområde.



Antennene er ikke skilt etter bruksområde. Antagelsen for strømforbruk er representativt for low earth orbit (LEO) operasjoner, som ligger i relativt lavt i atmosfæren og flytter seg i forhold til jorda, slik at de ikke er synlige til enhver tid. Geostationary orbit (GEO) operasjoner ligger høyere i atmosfæren, og flytter seg ikke i forhold til jorda. De er dermed i drift større deler av tiden og strømforbruk i en antenne som kommuniserer med en GEO-satellitt vil være høyere.

Strømmiksen for antenner er modellert noe annerledes enn i resten av analysen. Strøm som er brukt på Svalbard og Troll i Antarktis er produsert med oljeaggregat, som har et klimafotavtrykk på 515 gCO₂e/kWh, altså mye høyere enn fastlands-Norge.

Utelatt fra analysen er:

- Datasenter og MOC tilknyttet bakkestasjoner på grunn av manglende data
- Fotavtrykket forbundet med vedlikehold av antennene

²⁸ "Case Study: The Assessment of Greenhouse Gas Emissions of a Hybrid Satellite Broadband System over Its Life Cycle." ITU, April 2016.

Tabell 5-5 viser en oversikt over norske satellitter som er inkludert i analysen. Det er viktig å understreke at Tabell 5-5 ikke sammenfaller med satellitter som benyttes av nordmenn til kommunikasjon (for eksempel er Starlink hyppig brukt); dette er satellitter som driftes i Norge og eies av norske selskap. De største satellittene er kommunikasjonssatellitter som brukes blant annet til å sende TV, og eies av Space Norway (tidligere Telenor Satellite). Større satellitter har drivstoff om bord slik at de kan korrigere banen i løpet av brukstiden, mens mindre satellitter har ikke drivstoff og forblir derfor i banen de er skutt opp til.

Tabell 5-5: Oversikt over satellitter som er tatt hensyn til analysen

Satellitt	Eier	Totalvekt ved oppskytning	Drivstoffmengde ved oppskytning
ASBM 1	Space Norway	3505 kg	1580 kg
ASBM 2	Space Norway	3695 kg	1665 kg
THOR 5	Space Norway	2000 kg	870 kg
THOR 6	Space Norway	3000 kg	1800 kg
THOR 7	Space Norway	4600 kg	2800 kg
THOR 10-02	Space Norway	5600 kg	2700 kg
HYPISO-1	NTNU SmallSat	7 kg	0 kg
HYPISO-2	NTNU SmallSat	7 kg	0 kg
AISSAT-1	FFI	7 kg	0 kg
AISSAT-2	FFI	7 kg	0 kg
NorSat-1	Norsk Romsenter	16 kg	0 kg
NorSat-2	Norsk Romsenter	15 kg	0 kg
MilSpace2 - Birkeland	FFI	10 kg	0 kg
MilSpace2 - Huygens	FFI	10 kg	0 kg
ArcSat	FFI	19 kg	0 kg
NorSat-3	Kystverket	16 kg	0 kg
NorSat-TD	Norsk Romsenter	35 kg	0 kg

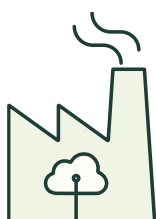
Satellittvekt og drivstoffvekt er tatt fra Space Norway sine nettsider.²⁹ Norsk Romsenter er benyttet som kilde for nasjonale satellitter,³⁰ mens Gunter's Space Page er brukt som supplerende referanse.³¹

²⁹ [Satellite Fleet - Space Norway](#)

³⁰ [Satellitter, infrastruktur og statlige romaktører](#)

³¹ [Satellites of Norway - Gunter's Space Page](#)

5.3. Datasenter



Datasenterindustrien er en sektor i sterk vekst i Norge på grunn av god tilgang på billig strøm og gunstige kår for drift. Kald utetemperatur mye av året gjør at kjøling av IT-infrastruktur kan gjøres energieffektivt.

Datasenter i Norge består hovedsakelig «Colocation»-anlegg, som er en forretningsmodell hvor datasenteraktører leier ut areal til kunder som plasserer sine servere hos datasentrene. Der det tidligere var vanlig for bedrifter å ha egne servere hos seg, er det i senere år stor overgang til skytjenester. Serverrom i bedrifter er derfor neglisjert i analysen.

Datasenterkapasiteten i 2024 kan hovedsakelig deles i tre segmenter: tradisjonell datasenterdrift, high performance computing (HPC), og kryptoutvinning. Tradisjonell datasenterdrift består av skytjenester for å serve nettsider, og lagre data for bedrifter. Tradisjonell datasenterdrift stiller mindre krav til regnekraft, men har svært høye krav til oppetid og krever stor lagringsplass.

HPC-tjenester karakteriseres av servere med mye beregningskraft, som brukes til beregninger store deler av tiden. HPC stiller mindre krav til oppetid og krever mindre lagringsplass, men til gjengjeld bruker de mer strøm enn tradisjonell serverdrift fordi de er kraftigere og regnekraften brukes i praksis kontinuerlig. HPC-anvendelser er hovedsakelig trening av kunstig intelligens modeller (KI), simuleringer som krever mye regnekapasitet som for eksempel værvarsling og beregninger til forskningsformål. Inntoget av KI har økt bruken av HPC-infrastruktur.

Kryptoutvinning benytter egne typer servere, og stiller lavere krav til kjølesystemer, back-up og redundans i datasenter. Kryptoutvinning er dekt av de innsamlede energiforbruksdataene, men fysisk infrastruktur er *ikke* kartlagt for dette segmentet. Samtidig anslo NVE at 0,5 TWh av totalt 1,5 TWh strømforbruk i datasenter går til kryptoutvinning,³² uten at det er opplyst om hvilken metode som ligger til grunn for denne vurderingen. Det er derfor store mørketall i den fysiske infrastrukturen og arealbeslag fra kryptoutvinning i denne analysen.

Modellen for datasentersegmentet er karakterisert av mangel på primærdata, ettersom det er stor grad av hemmelighold om fysisk inventar, strømforbruk m.m. hos datasenteroperatørene. Derfor er inventaret bygget opp basert på en litteraturstudie kombinert med nøkkeltall fra de største datasenteraktørene som er hentet fra nettsider, årsrapporter, eller dialog med datasentrene direkte.

³² [Regjeringen: Utvinning av kryptovaluta utgjør 0,5 TWh](#)

Norsk Datasenterindustri oppgir at innrapporterte tall fra deres medlemmer omfatter 508 MW installert effekt, hvorav 247 MW **utnyttet kapasitet**. Installert effekt beskriver hvor mye energi datasenter kan maksimalt bruke, mens utnyttet kapasitet beskriver hvor mye energi som faktisk er benyttet. Datasenter benytter ikke hele deres utnyttede kapasitet hele døgnet, slik at strømforbruket ikke kan regnes ut basert på dette, men er hentet inn fra Elhub som beskrevet under.

Power Usage Efficiency (PUE) er et forholdstall som regnes ut ved å dele totalt strømforbruk i et datasenter med strøm som går til regnekraft. Det beskriver hvor effektivt datasenteret er, der et lavere tall betyr at mindre strøm brukes til støttefunksjoner, hvor kjøling ofte er det mest vesentlige. Gjennomsnittlig PUE er 1,19 i Norge i 2024.

Mengden IT utstyr, kjølesystemer og støttesystemer for strøm er beregnet på grunnlag av utnyttet kapasitet og PUE. For å finne ut hvordan kapasitet henger sammen med komponenter i datasenter, er det tatt utgangspunkt i verktøyet «Data center power sizing calculator»³³ i sammenheng med dokumentet «Calculating total power requirements for data centers»³⁴, begge fra Schneider Electric. Disse har som hensikt å veilede dimensjonering av utstyr i datasenter, med utgangspunkt i en mengde utstyr, som resulterer i et effektbehov. Vi har reversert beregningen i kalkulatoren til Schneider Electric, slik at vi kan gå fra en gitt kapasitet i MW samt PUE og datasenterareal, til en mengde servere, kjøleutstyr og nettverksutstyr.

Komponentene som er tatt hensyn til i datasentermodellen er: servere, ekstern lagring (harddisker), nettverksutstyr, stativ (racks), kjølesystem, UPS & batteri, aggregat, transformator, og bygningsmasse. Modellen for disse komponentene er nærmere beskrevet i Appendiks 9.6.

Mengden fysisk inventar (IT utstyr, kjølesystemer, støttesystemer for strøm, og bygningsmasse) og belaglagt areal er beregnet basert på datasenter som driver tradisjonell datasenterdrift og HPC drift, mens den fysiske infrastrukturen fra kryptoutvinningsegmentet mangler. En tabell med datasenter omfattet av analysen med tilhørende nøkkeltall finnes i Appendiks 9.6.

Beslaglagt areal er arealet til tomter brukt av datasenteret, og benyttes som proxy for



nedbygd natur. Beslaglagt areal for datasenter er kvantifisert ved hjelp av matrikkelen. Det er kjent at flere datasenter benytter areal som er overtatt fra andre formål, for eksempel gammelt trykkeri, våpenlager, m.m. Vi velger allikevel å behandle alle tomter som likeverdige i den

³³ [Data center power sizing calculator | Schneider Electric Global \(se.com\)](https://www.se.com/global/en/data-center-power-sizing-calculator)

³⁴ [Calculating Total Power Requirements for Data Center \(schneider-electric.com\)](https://www.schneider-electric.com/resources/whitepapers/calculating-total-power-requirements-for-data-center)

graden de beslaglegger areal som ellers kunne vært natur. Internt areal i datasentrene er kartlagt separat, for å anslå de indirekte utslippene i bygningsmassen.



Der fotavtrykket fra materialkomponentene beregnes nedenfra og opp, har vi valgt å benytte statistikk for **strømforbruk** ovenfra, da estimatene regnes som mer presise.

Elhub³⁵ har delt seneste data om strømforbruk for datasenter, som er presentert i Figur 5-2. Disse dataene er basert på en 5-sifret næringskode påført på alle målepunkter av nettselskapene, som skal reflektere sluttforbruket. Det kan være feil næringskodene påført av nettselskapene, slik totalestimatet er noe usikkert. Vi regner allikevel verdien rapportert til Eurostat som mer sikkert enn å skulle regne nedenfra og opp, da det er basert på virkelig måledata. Dette betyr at vi ikke har muligheten til å skille på strømforbruk per datasenter eller hvilke komponenter av et datasenter som står for hoveddelen av strømforbruk. Strømforbruksestimatene omfatter alle typer datasenterdrift, inkludert kryptoutvinning.

Forskrift om datasenter og ny Ekomlov (ikrafttredelse 01.01.2025) pålegger alle datasentere i Norge over 0.5MW skal registreres hos Nkom. Denne registreringen skal blant annet inneholde anslag over prosentvis andel av kraftforbruket som skal anvendes til utvinning av kryptovaluta.³⁶

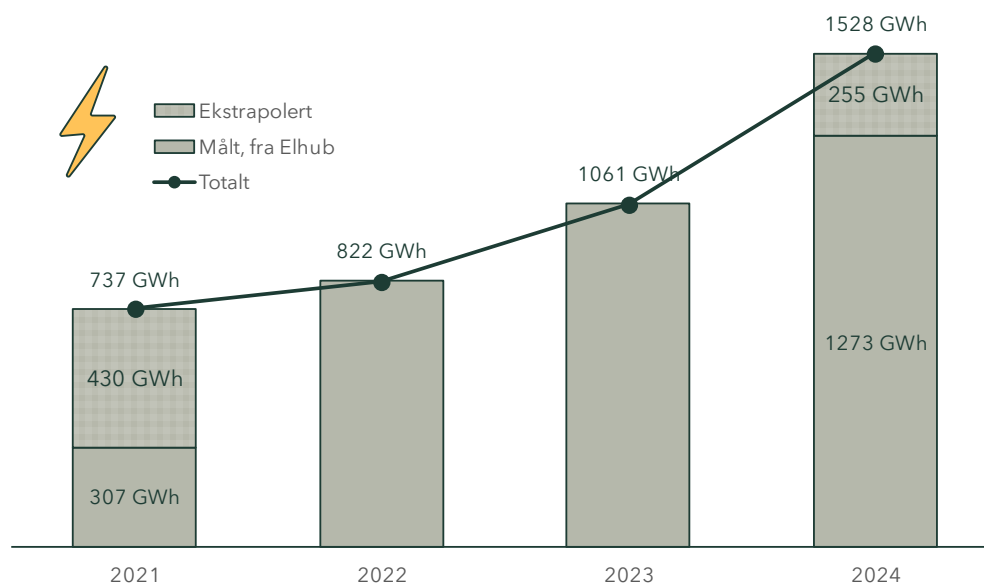
For 2021 starter måledataene fra august mens for 2024 går dataene fram til oktober. For disse to årene har vi derfor ekstrapolert dataene for å dekke hele året, ved å anta at forbruket i de manglende månedene er lik snittet for alle de rapporterte månedene. Strømforbruk i 2024 er anslått til 1 530 GWh, mot 1 061 GWh i 2022, som tilsvarer en økning på 44 %. Dette er en relativt liten økning med tanke på at Norsk Datasenterindustri anslår en økning i utnyttet kapasitet med hele 65 % fra 2023 til 2024.³⁷

³⁵ elhub.no - Elhub

³⁶ [Forskrift om datasenter - Kapittel 1. Innledende bestemmelser og krav til registrering - Lovdata](#)

³⁷ Kilde: mailutveksling med Norsk Datasenterindustri

Årlig strømforbruk i Norske datasenter



Figur 5-2: Årlig strømforbruk i norske datasenter, som målt av Elhub og ekstrapolert for manglende måneder

Følgende punkter er ekskludert fra modellen for datasenter:

- Vedlikehold av IT-utstyr og bygninger, som er antatt neglisjerbart
- Utnyttelse av spillevarme regnes ikke med i LCA-modellen, da dette er en andreordens effekt som faller utenfor systemgrensene.
- Fysisk infrastruktur for kryptoutvinningssegmentet ble ikke kartlagt. Siden det er estimert at de står for 1/3 av strømforbruket i datasenter kan har ført til et underslag i fotavtrykket fra IT utstyr, kjølesystemer, støttesystemer for strøm og bygningsmasse med inntil 1/3.

5.4. Bruk av digital infrastruktur i utlandet

Klimafotavtrykket fra nordmenns bruk av digital infrastruktur i utlandet er grovt estimert ved å multiplisere trafikk over landegrensene med en faktor som estimerer klimapåvirkningen.

For datatrafikk i fastnettet finnes det ingen offisiell statistikk. Nettverksleverandører dimensjonerer utstyret med tanke på maksimal trafikk per tidsenhet (peak TB/s), og ikke total mengde datatrafikk. Derfor måler de i utgangspunktet ikke mengde data brukt.

Nettverksleverandører har levert svært grove estimater for total mengde trafikk og andel som går inn og ut av landet. Tallene som ligger til grunn for mengde trafikk inn og ut av Norge er konfidensielle og derfor ikke gjengitt her. Basert på tallgrunnlaget estimerer vi samlet trafikk inn og ut av Norge på 5 200 PB i 2024 (av 21 000 PB totalt trafikkvolum). Det er ikke skilt mellom inngående og utgående trafikk. Estimateret var oppgitt som en nedre

grense for utlandstrafikken, slik at verdien er brukt som et overslag på størrelsesorden på trafikk selv om det inneholder inngående trafikk fra utlandet.

Datatrafikk har klimafotavtrykk både ved at det bruker nettverksinfrastruktur, og fra aktiviteten som skapes av en forespørsel hos et datasenter. En forespørsel kan skape et stort spenn av aktivitet avhengig av hva det inneholder. For eksempel vil data som sendes til lagring hos et datasenter skaper mindre aktivitet enn en forespørsel som krever stor beregningskraft, som generativ KI. Det er derfor stor usikkerhet i hvor mye datasenteraktivitet som kreves per enhet datatrafikk, og det er tatt høyde for denne usikkerheten i beregningene. Det er antatt høye og lave scenarier for datasenteraktiviteten som er genert som følge av trafikken.

NegaOctetdatabasen ble utviklet som en del av arbeidet for å kartlegge fotavtrykket fra digital infrastruktur i Frankrike av ADEME.³⁸ De har publisert miljøpåvirkningsfaktorer for en rekke nettverkstjenester (for eksempel: laste ned 1 GB data, strømme 1 time video) som er lagt til grunn for denne beregningen. Faktorer som omfatter klimafotavtrykket fra nettverket og datasenter, men utelater sluttbrukerenheter, er brukt. Dette er kombinert med tall for klimafotavtrykk per data levert som beregnet i denne studien. Faktorene er representative for datasenteraktivitet i Frankrike, som medfører usikkerheten ettersom forespørsler kan behandles mange steder i verdenen, men usikkerheten i samlet utlandstrafikk og i generert aktivitet per trafikk er langt større.

Det er ikke mulig å gjenbruke bruke estimer for fotavtrykk per data for datasenter i Norge fra denne studien, fordi det ikke er samlet informasjon om datatrafikk inn og ut av datasentrene i Norge.

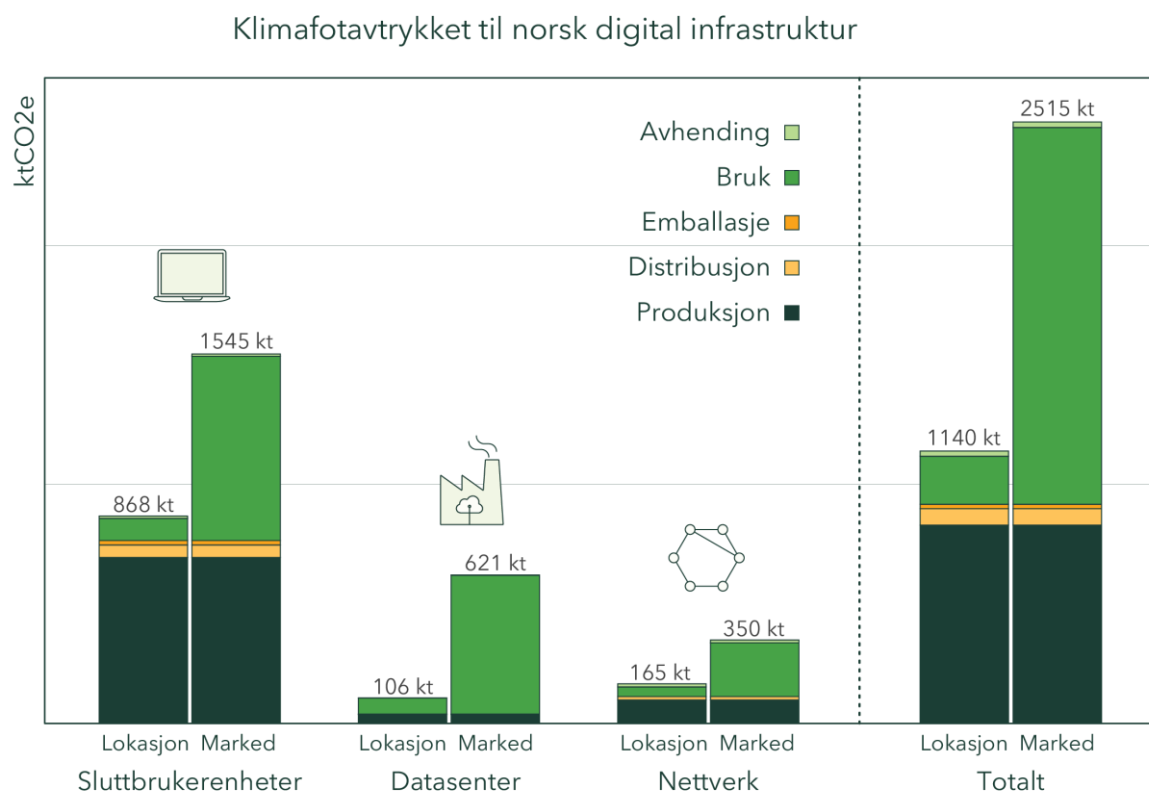
³⁸ [Measuring the environmental impact of digital technology - NegaOctet](#)

6. Resultater

6.1. Klimafotavtrykk



Klimafotavtrykket fra norsk digital infrastruktur, per teknisk segment og fordelt på livsløpsfase, vises i Figur 6-1. Det totale klimafotavtrykket fra norsk digital infrastruktur er 1,1 millioner tonn CO₂e med lokasjonsbasert strømmiks (2,5 millioner tonn CO₂e med markedsbasert strømmiks). Til sammenligning var utslipp til luft fra innenriks luftfart sektoren 1,2 millioner tonn CO₂e i 2023.³⁹ Merk at utslipp til luft er direkteutslipp, mens klimafotavtrykket inneholder alle utslippene fra verdikjeden og har derfor et annet omfang.



Figur 6-1: Klimafotavtrykket fra norsk digital infrastruktur, per teknisk segment og livsløpsfase, og for både lokasjon og markedsbasert strømmiks

Figur 6-1 viser resultater presentert for både lokasjonsbasert og markedsbasert strømmiks, noe som belyser hvor stort utslag valg av strømmiks gir. Lokasjonsbasert strømmiks legger til grunn strømmen som fysisk brukes i Norge, som i stor grad er vannkraft og derfor fornybar. Markedsbasert strømmiks vurderer hvor stor andel av strømmen det er kjøpt

³⁹ [Utslipp til luft - SSB](#)

opprinnelsesgarantier for, og tilegner derfor ikke-fornybare kilder til store deler av strømmen. Begge strømmiksene legger livsløpsvurdering til grunn. Videre i analysen benyttes lokasjonsbasert strømmiks; hovedresultatene er oppsummert i Tabell 6-1.

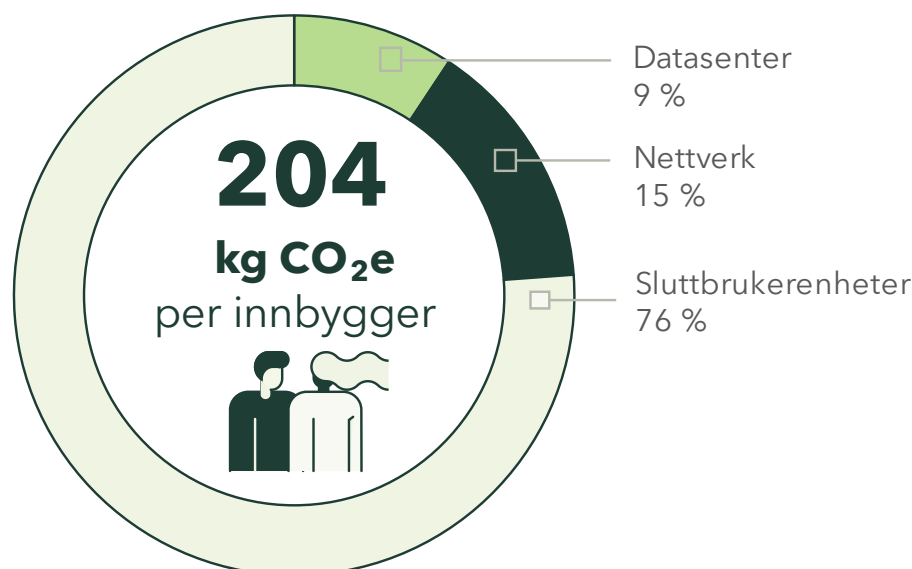
Tabell 6-1: Klimafotavtrykket fra norsk digital infrastruktur, per teknisk segment og livsløpsfase, med lokasjonsbasert strømmiks lagt til grunn. Fotavtrykket er uttrykk i tusen tonn (kt) CO₂-ekvivalenter.

Livsløpsfase	Sluttbrukerenheter 	Nettverk 	Datasenter 	Totalt 
■ Produksjon	694 kt	98 kt	37 kt	830 kt
■ Distribusjon	53 kt	14 kt	2 kt	69 kt
■ Emballasje	19 kt	-	-	19 kt
■ Bruk	93 kt	40 kt	67 kt	200 kt
■ Avhending	10 kt	12 kt	0,2 kt	22 kt
Totalt	868 kt	165 kt	106 kt	1 140 kt

Uavhengig av strømmiks er klimafotavtrykket fra sluttbrukerenheter i 2024 langt høyere enn for datasenter og nettverket. Dette skyldes i hovedsak produksjonsfasen, som er utslippene forbundet med å utvinne materialer og produsere elektroniske enheter. Sluttbrukerenheter har relativt kort levetid, og det er svært mange av de i omløp, noe som fører til høyt klimafotavtrykk. Samtidig er datasenter et segment i sterk vekst; følgene for klimafotavtrykket utforskes i tilhørende scenarioanalyse.⁴⁰

For alle tekniske segment er produksjon- og bruksfasen de viktigste bidragsyterne, mens transport, emballasje, og avhending har minimal påvirkning. Avhending i denne modellen omfatter utslipp forårsaket av å kaste og resirkulere eller ta hånd om produkter etter endt liv, og dekker ikke mulige positive følger av å gi materialer nytt liv i nye produkter.

⁴⁰ Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom), 2025. Scenarioanalyse av klimafotavtrykket fra norsk digital infrastruktur (Versjon 1.0). Utarbeidet av Asplan Viak.



Figur 6-2: Det samlede klimafotavtrykket per innbygger, med lokasjonsbasert strømmiks

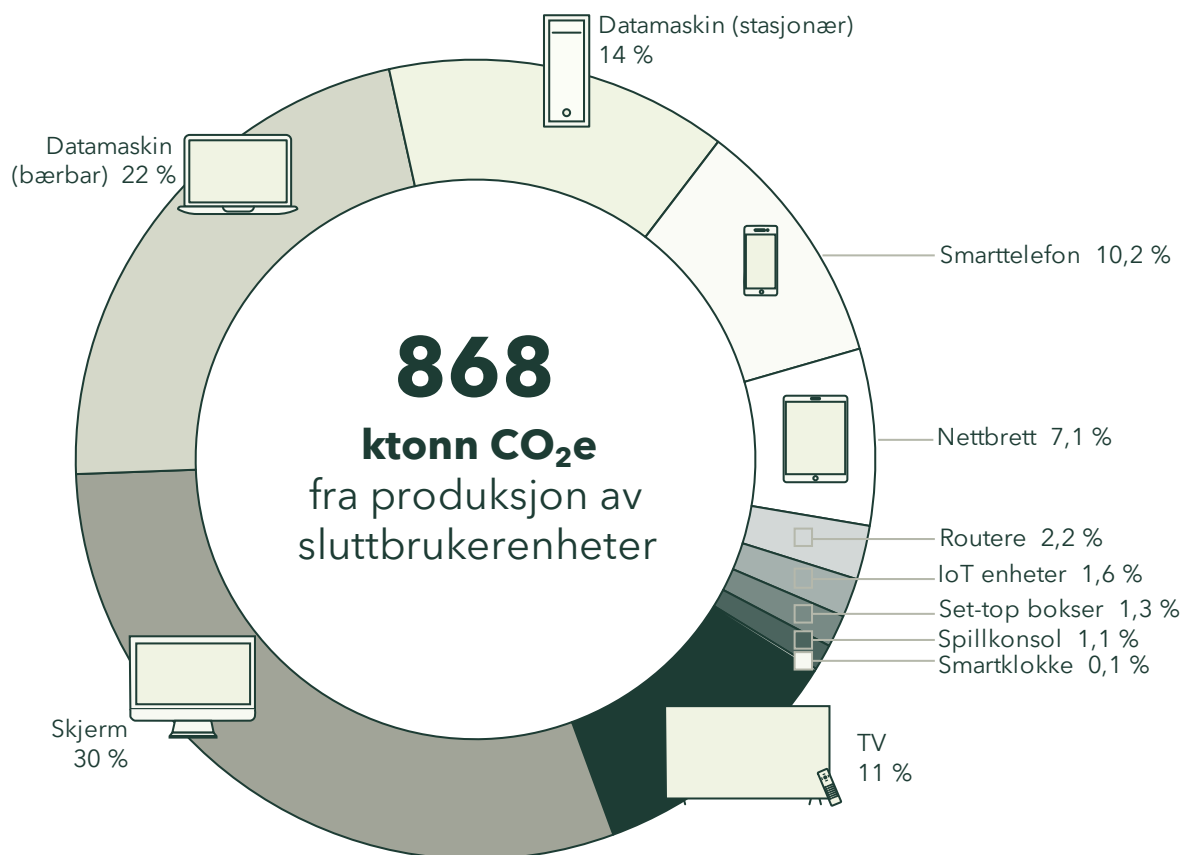
Figur 6-2 viser klimafotavtrykket fra digital infrastruktur per innbygger i Norge, fordelt på teknisk segment. Klimafotavtrykket er 204 kgCO₂e per innbygger i 2024. Til sammenligning viser Miljødirektoratets forbruksbaserte klimagassregnskap at klimafotavtrykket per innbygger i Norge er 14 t CO₂e/år.⁴¹ Resultatene fra nåværende studie indikerer derfor at digital infrastruktur står for rundt 1,5 % av det samlede klimafotavtrykket fra en norsk borger.

Merk at det i Figur 6-2 er brukt lokasjonsbasert strømmiks for sammenlignbarhet med det forbruksbaserte klimagassregnskapet. Vi velger å presentere påfølgende resultater med markedsbasert strømmiks, fordi det fanger opp ringvirkningene av norsk strømforbruk i det europeiske kraftmarkedet i større grad enn lokasjonsbasert strømmiks.

6.1.1. Sluttbrukerenheter

Sluttbrukerenheter står for 868 kt CO₂e, eller 76 % av det samlede klimafotavtrykk fra digital infrastruktur. Figur 6-3 viser fordeling av klimafotavtrykk fordelt på ulike sluttbrukerenheter.

⁴¹ [To tredel av utsleppa frå forbruket vårt skjer i andre land - miljodirektoratet.no](https://www.miljodirektoratet.no/tema/klima/utslepp-av-karbondioksid/tilsvarende-utslepp-av-karbondioksid-i-utlandet)



Figur 6-3: Bidragsanalyse for klimafotavtrykket fra sluttbrukerenheter

Skjerm (30 %) og datamaskin (22 % for bærbare og 14 % for stasjonære) står for de største utslippene. Både kretskort- og skjermproduksjon er klimaintensivt, og skjermer og datamaskiner inneholder relativt mye av begge deler. Strømforbruk per enhet, hvor stasjonære datamaskiner og TV rangerer høyest (se Tabell 5-1) er også en viktig faktor i bidraget til klimafotavtrykket.

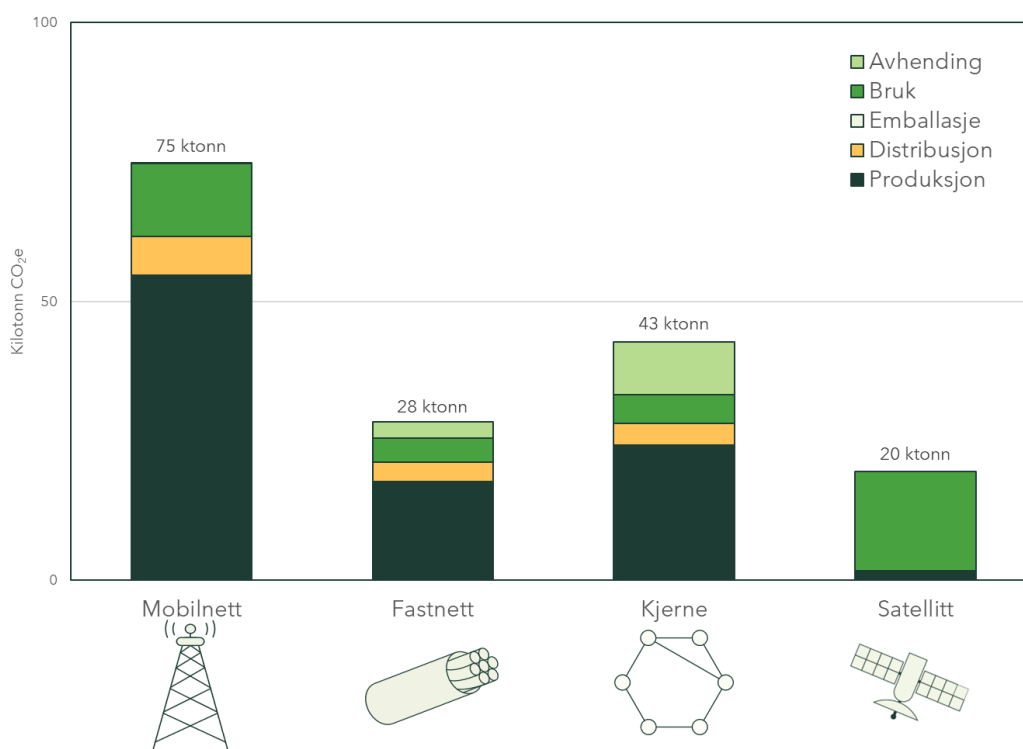
Det er også viktig å påpeke at infrastruktur for å sende TV (kringkastingssendere) er utelatt fra nettverksdelen av analysen. Mange sluttbrukere konsumerer TV over fastnettet, slik at en stor del av tjenestene som forsyner disse sluttbrukerenhetene er dekket, samtidig som nettverksbidraget vil være noe underestimert.

IoT-enheter står for kun 1,6 % av utslippene; selv om det er svært mange i omløp, er fotavtrykket per enhet svært lavt sammenlignet med andre typer utstyr. De fleste IoT-enheter er små, enkle sensorer som gir lavt fotavtrykk, og som trekker lite strøm.

Sluttbrukerenheter kjennetegnes av relativt kort levetid (3-6 år for de fleste typer enheter kartlagt) i forhold til annet utstyr i den digitale infrastrukturen. Å forlenge levetiden og dermed redusere mengden med nye enheter i bruk vil være en effektiv måte å redusere klimafotavtrykket fra dette segmentet.

6.1.2. Nettverk

Nettverk står for 165 ktonn CO₂e, eller 15 % av det samlede klimafotavtrykket fra digital infrastruktur. Figur 6-4 viser fotavtrykket av de ulike segmentene av nettverk: mobilnett, fastnett, kjernenett og satellitt. Mobilnettet er den viktigste bidragsyteren og står for 45 % av klimafotavtrykket fra nettverk. For mobilnett, fastnett og kjerne- og transmisjonsnett er produksjon den mest signifikante livsløpsfasen, men bruksfasen er mest signifikant for satellitter. Bruksfasen for satellitter består i delvis at strøm fra dieselaggregater på Svalbard og Antarktis, som har større klimapåvirkningen enn strøm som brukes på fastlands-Norge.

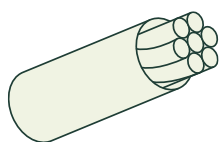


Figur 6-4: Fotavtrykket fra nettverk, fordelt per kategori og livsløpsfase

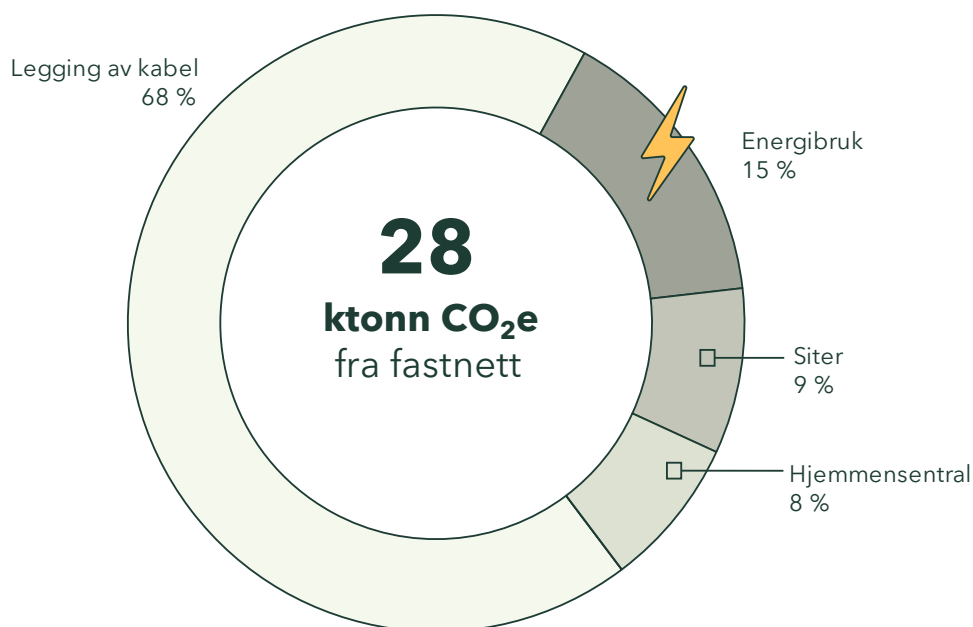
Legging av fiberoptisk kabel i fast- og kjernenettet står for i sum 57 tusen tonn CO₂e av klimafotavtrykket fra nettverk, som tilsvarer 35 % av de samlede utslippene til nettverkssegmentet. I Figur 6-4 inngår utslippene fra legging av fiberoptisk kabel i kategorien produksjon. Kjernenettet har større fotavtrykk fra avhending enn andre segment; siden det er antatt større kabelrør og fiberkabler i kjernenett. Kablene og rørene har vesentlig klimafotavtrykk ved avhending fordi plasten som omslutter rørene forbrennes og fører til klimagassutslipp.

Når klimafotavtrykk sammenlignes per GB data levert, har mobilnettet høyere fotavtrykk enn fastnettet. Det skyldes at klimafotavtrykket fra mobilnettet er over to ganger så stort som fastnettet, både fordi det krever mer installert utstyr og høyere strømforbruk. Samtidig leveres 21 ganger mer data i fastnettet enn i mobilnettet. Fastnettet kan derfor sies å

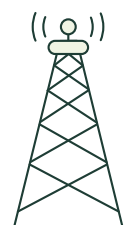
levere data mer klimaeffektivt enn mobilnettet. Merk at våre beregninger her ekskluderer transmisjons- og kjernenettet, som ikke er fordelt mellom fastnett og mobilnett i denne studien. Det er viktig å påpeke at det ikke finnes offisiell statistikk på datatrafikken i fastnettet, da trafikk som regel måles i hastighet og ikke i mengde, og det er dermed usikkerhet knyttet til klimafotavtrykk per mengde datatrafikk.



Figur 6-5 viser en bidragsanalyse for klimafotavtrykket fra **fastnettet**. Legging av fiberkabel står for hele 68 % av utslippene i fastnettet. Som nevnt i kapittel 5.2.2, er det antatt at kabler i bakken legges ved bruk av gravemaskin. Legging ved bruk av gravemaskin gir høyere klimagassutslipp enn andre metoder siden det krever større mengder fyllmasser, og ofte reasfaltering. Mikrotrenching og fiberplog er teknikker som har ca. 1/10 lavere klimagassutslipp per meter kabel i forhold til legging med gravemaskin.⁴² Disse teknikkene er lite utbredt i dag og egner seg ikke for bruk i alle tilfeller. Økt bruk av disse teknikkene vil imidlertid kunne redusere denne delen av klimafotavtrykket.



Figur 6-5: Bidragsanalyse for klimafotavtrykket fra fastnettet

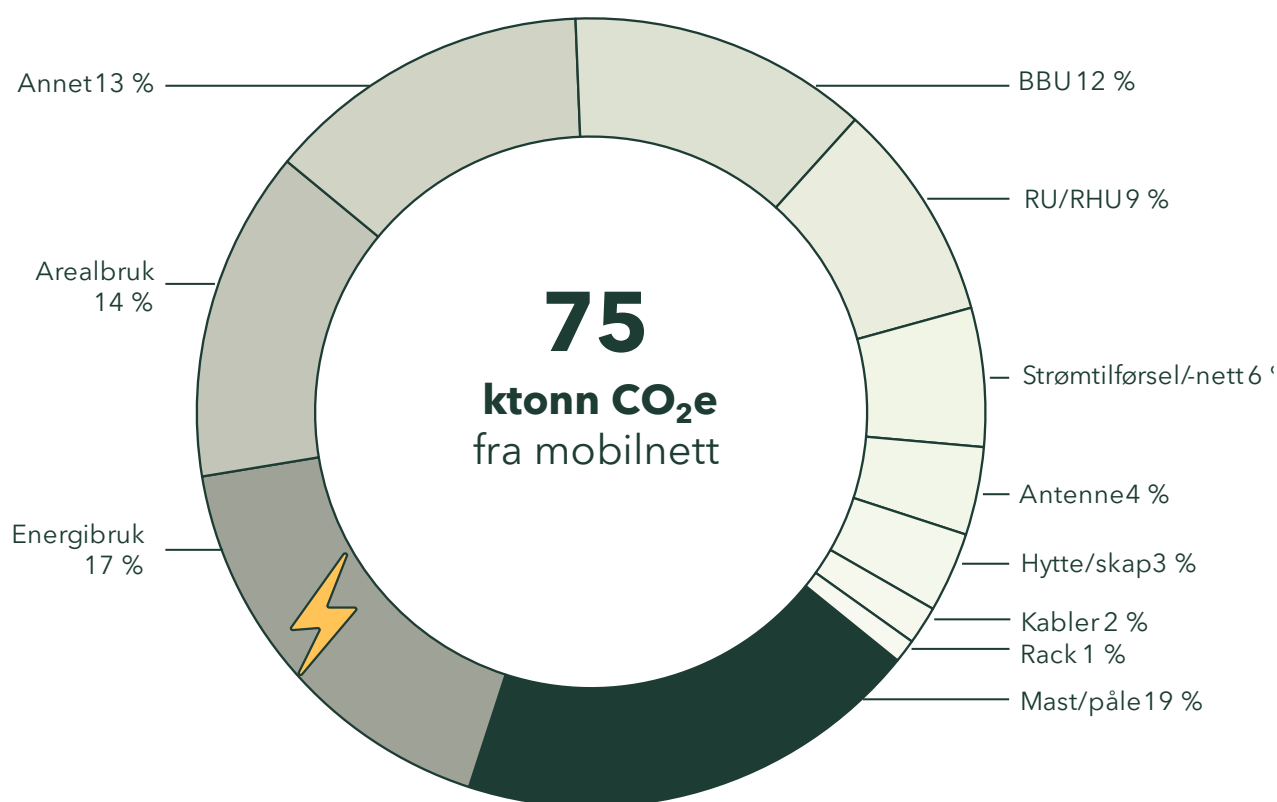


Figur 6-6 viser en bidragsanalyse for klimafotavtrykket fra **mobilnettet**. Master og påler som benyttes til å montere antenner på lokasjoner er den viktigste enkeltbidragsystemen (19 %), tett etterfulgt av energiforbruk (17 %) og arealbruksendringer (14 %). Merk at klimagassutslipp forbundet med

⁴² Eric Rambech and Valentin Vandenbussche, "Klimafotavtrykk Fra Utrulling Av Fiber" (Endrava, December 28, 2022), https://ikt-norge.no/wp-content/uploads/Endrava-Rapport-Klimafotavtrykk-av-utrulling-av-fiber_rev01.pdf.

arealbruksendringer er medregnet for frittstående lokasjoner. Det er her benyttet en konservativ antakelse om at alle nye lokasjoner bygges eller er bygd på skogareal.

Nye generasjoner med mobilteknologi har stadig avtagende strømforbruk per mengde data sendt, slik at for eksempel 5G er en mer effektiv teknologi enn 4G. Samtidig krever dette stadig utskiftninger av utstyr i basestasjoner, og raskere mobilnett fører til økt bruk. Det er derfor sprikende estimerer på nettogevinsten av utrulling 5G,⁴³ og det er viktig at klimafotavtrykk benyttes i tillegg til strømforbruk når enn vurderer dette.

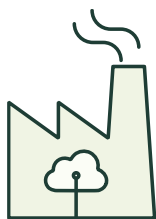


Figur 6-6: Bidragsanalyse for klimafotavtrykket for mobilnett.

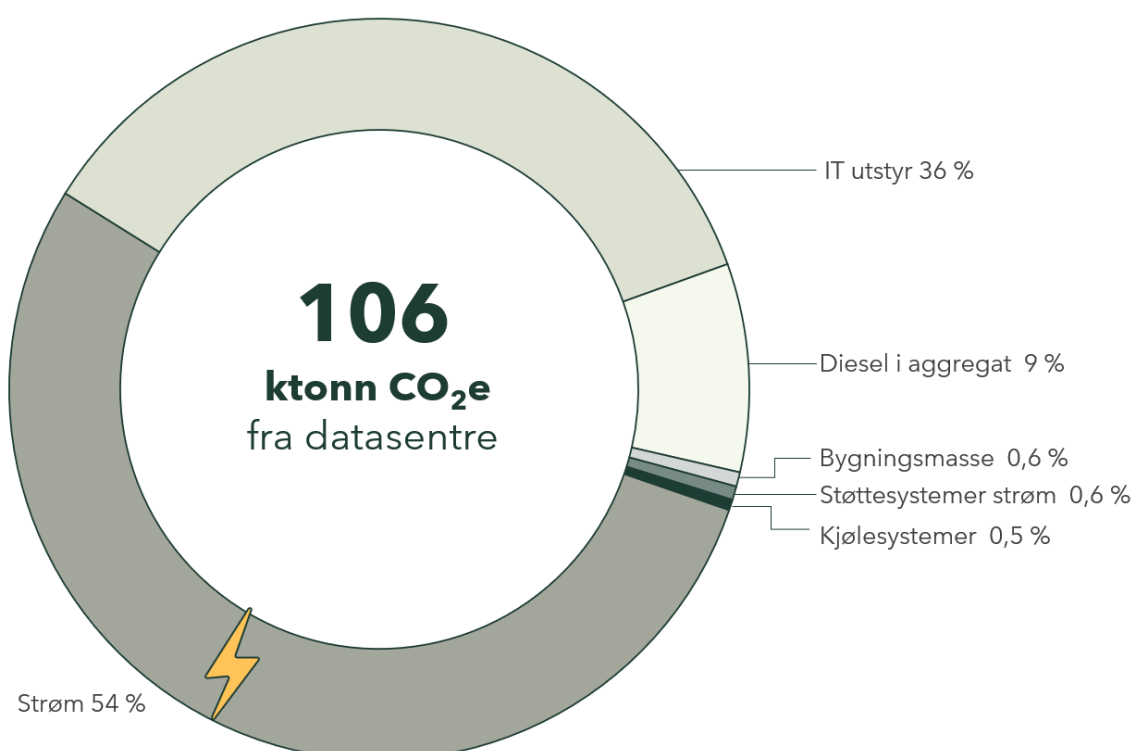
⁴³ Williams, Laurence, Benjamin K. Sovacool, and Timothy J. Foxon. "The Energy Use Implications of 5G: Reviewing Whole Network Operational Energy, Embodied Energy, and Indirect Effects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 157 (April 2022): 112033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112033>.

6.1.3. Datasenter

Det samlede klimafotavtrykket fra norske datasenter er 106 ktonn CO₂e, som tilsvarer 9 % av klimafotavtrykket fra digital infrastruktur. Energiforbruk i form av strøm står for 54 % av utslippene, som vist i Figur 6-7.



IT utstyr, som består av servere, lagringskapasitet og nettverksutstyr, står for 36 % av utslippene. Det er da antatt at IT utstyr byttes ut hvert 4.-6. år avhengig av type; lengre levetid vil redusere fotavtrykket. Fysisk utstyr (IT utstyr, bygningsmasse, støttesystemer for strøm og kjølesystemer) er utelatt for kryptoutvinningssegmentet, som er anslått å stå for ca. 1/3 av strømforbruket i datasenter. Denne delen av klimafotavtrykket er derfor underslått med inntil 1/3. Det er derfor sannsynlig at IT utstyr har omtrent like stort bidrag som strømforbruk.



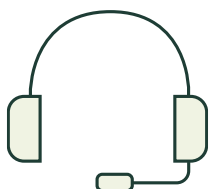
Figur 6-7: Bidragsanalyse for klimafotavtrykket fra datasenter

Sammenlignet med global basis er datasenterindustrien i Norge relativt energieffektiv. Power Usage Effectiveness (PUE) er et mål på hvor mye strøm som går til regnekraft i forhold til andre deler av drift som kjøling. I Norge er gjennomsnittlig PUE rundt 1,2; globalt gjennomsnitt er 1,56.⁴⁴ Lav PUE i Norge skyldes til dels gode vilkår for drift (kald utetemperatur).

⁴⁴ [Data center average annual PUE worldwide 2024 | Statista](#)

Varmegjenvinning, enten i form av fjernvarme eller i lokale systemer, er en gunstig måte å øke energieffektiviteten. Energiforbruket som presentert i Figur 6-7 tar ikke hensyn til gjenbruk av overskuddsvarme, da dette er en andreordens effekt som er utenfor rammene av analysen. Ifølge Norsk Datasenterindustri sin årsrapport har 9 av de 18 største datasentrene varmegjenvinning, hovedsakelig i form av lokale systemer.⁴⁵ Det er ikke kartlagt hvor mye spillevarme som går til varmegjenvinning i denne analysen.

6.1.4. IT-tjenester



IT-tjenester omfatter de indirekte utslippene forbundet med å utvikle programvarer, yte konsulenttjenester og andre tjenester tilknyttet digital sektor. Klimafotavtrykket fra IT-tjenester er kvantifisert ved å sammenligne resultatene av kryssløpsanalysen med resultatene av LCA analysen, der det er antatt at differansen i hovedsak skyldes etterspørsel etter tjenester.

Basert på dette er klimafotavtrykket fra IT-tjenester anslått til **97 tusen tonn CO₂e**, som er litt større enn klimafotavtrykket fra mobilnettverket (75 tusen tonn CO₂e). Lokasjonsbasert strømmiks ligger til grunn for dette estimatet ettersom det er det som ligger i til grunn for kryssløpsanalysen.

6.1.5. Bruk av digital infrastruktur i utlandet

Nordmenns bruk av internett medfører et klimafotavtrykk i utlandet, fordi datatrafikk krever bruk av digital infrastruktur for nettverk og datasenter også utenfor Norge. Norsk bruk av digital infrastruktur i utlandet faller utenfor systemgrensene av LCAen gjennomført, men er estimert med en enkel metode for å bidra til diskusjon om størrelsesorden.

Basert på enkle estimater er klimafotavtrykket fra bruk av digital infrastruktur i utlandet anslått til **64 - 96 tusen tonn CO₂e**. Til sammenligning er klimafotavtrykket fra mobilaksessnettet beregnet til 75 tusen tonn CO₂e.

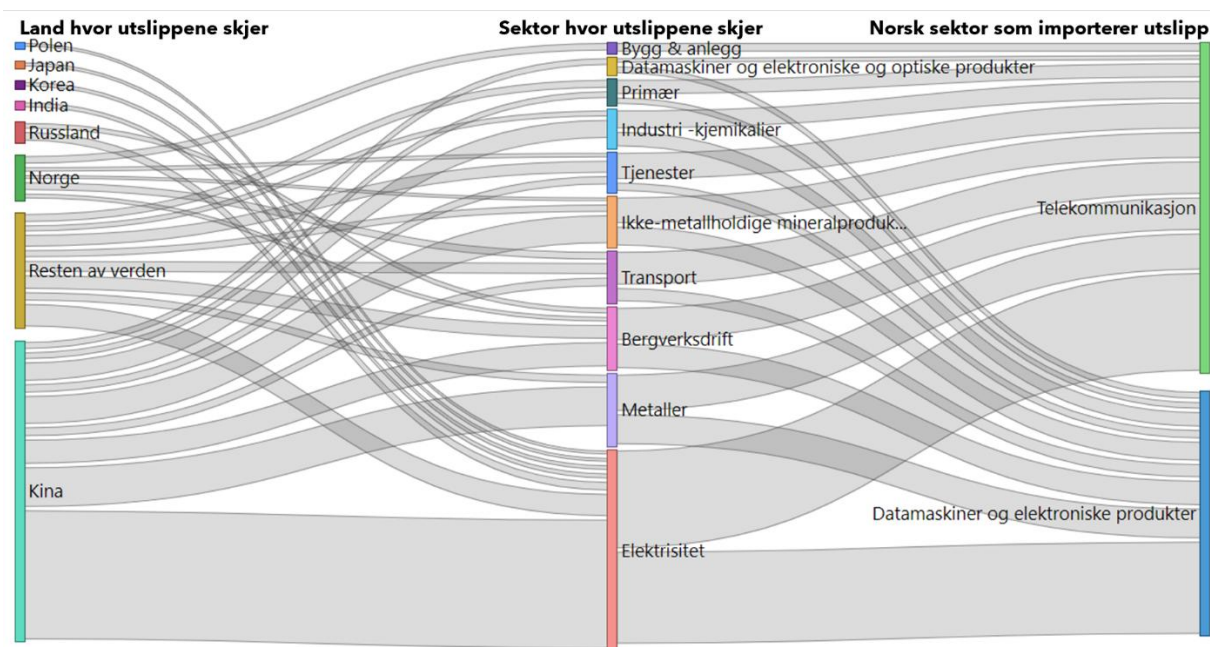
Det er stor usikkerhet i disse tallene. Mengde trafikk som går til utlandet måles ikke presist. Samtidig vil påvirkningen av utlandstrafikk variere med hvilket formål forespørselen har (for eksempel vil videostreaming, en KI-forespørsel og å sende en epost ha svært ulike fotavtrykk i et datasenter), og hvor i verdenen trafikken sendes. Estimater omfatter både påvirkningen av nettverkstrafikken og tilhørende datasenteraktivitet.

6.1.6. Utslippskilder

Miljøutvidet kryssløpsanalyse tillater sporing av indirekte klimagassutslipp til hvor utslippene fysisk finner sted, både geografisk og på sektornivå. Figur 6-8 gir en oversikt over opprinnelsesland- og sektor til oppstrøms utslipp fra nettverk (her kalt

⁴⁵ "Datasenterindustrien i Norge 2023-2024." Norsk Datasenterindustri, 2023.
https://static1.squarespace.com/static/6129463e215bea534c574c7f/t/65af8ffb143f806306a5769/1706004478619/Datasenterindustrien+i+Norge+2023-2024_final.pdf.

telekommunikasjon) og sluttbrukerenheter (her kalt datamaskiner og elektroniske produkter) i Norge. For tydelighetens skyld er de 62 NACE-sektorene brukt i FIGARO-modellen aggregert til 18 hovedkategorier; kategoriene og aggregering er dokumentert i Appendiks 9.7. Figur 6-8 sporer utslippene tilbake til landet hvor de fysisk skjer, uavhengig av hvor i verdikjeden dette skjer, og viser hvilken sektor som importerer disse indirekte utslippene til slutt.



Figur 6-8: De største kildene til importert utslipp for norsk telekommunikasjon og datamaskin & elektroniske produkter sektor. Kun utslippsstrømmer større en 10 tCO₂e vises

Fotavtrykket fra både telekommunikasjon- og datamaskiner og elektroniske produkter kommer i betydelig grad fra utslipp fra produksjon av elektrisitet, hovedsakelig fra Kina. Den nest største bidragsyteren til utslippene er metallsektoren, etterfulgt av bergverksdrift. Dette gjenspeiler at både telekommunikasjon, datamaskiner og elektroniske produkter er produsert i eller er avhengig av utstyr produsert i Kina, med kinesisk strøm og råvarer.

Størsteparten av utslippene til disse sektorene importeres fra utlandet; kun 12 % av utslippene til telekommunikasjonssektoren og 1% av utslippene fra datamaskiner og elektroniske produkter skjer fysisk i Norge. En mer detaljert analyse av utslippsstrukturen i de norske sektorene for telekommunikasjon og datamaskiner og elektronikk presenteres i de følgende underkapitlene.

6.1.6.1 Nettverk

Tabell 6-2 gir en oversikt over utslippskildene til nettverkssegmentet, som er omfattet av telekommunikasjonssektoren i kryssløpsmodellen. Venstre side i tabellen viser utslipp fordelt på sektorer og høyre side på regioner.

De regionene hvor størstedelen av direkteutslippene forekommer, er Kina og «Resten av verden» (RoW). Til sammen kommer 60 % av de totale utslippene knyttet til den norske

telekommunikasjonssektoren fra disse regionene. Norge er den tredje største regionen når det gjelder utslippskilder – utslippene i Kina fra norsk telekommunikasjonssektor er mer enn 5 ganger så store som utslippene i Norge.

Tabell 6-2: Kilder til utslipp for telekommunikasjonssektorens klimafotavtrykk

Utslippskilde fordelt på sektor, topp 10	CO ₂ e		Fordelt på land	CO ₂ e	
Elektrisitet	505 kt	32 %	Kina	680 kt	43 %
Metaller	199 kt	13 %	Resten av verden	265 kt	17 %
Bergverksdrift	165 kt	10 %	Norge	132 kt	8 %
Transport	161 kt	10 %	Russland	72 kt	5 %
Ikke-metallholdige mineralprodukter	131 kt	8 %	USA	41 kt	3 %
Tjenester	124 kt	8 %	India	37 kt	2 %
Industri-kjemikalier	96 kt	6 %	Tyskland	35 kt	2 %
Primær	69 kt	4 %	Polen	28 kt	2 %
Bygg & anlegg	38 kt	2 %	Japan	27 kt	2 %
Andre	94 kt	6 %	Andre	268 kt	17 %
Sum	1 583 kt CO₂e		Sum	1 583 kt CO₂e	

Den største enkeltkilden til klimagassutslipp kommer fra elektrisitetssektoren. Dette er ikke uventet, ettersom produksjon av elektrisitet er en stor utslippskilde globalt sett, og elektrisitet inngår i alle produksjonsnettverk i større eller mindre grad. Spesielt produksjon av elektroniske produkter krever betydelig energi både direkte i produksjonen og i råvarekjedene. Bidragene til klimagassutslipp knyttet til norsk telekommunikasjon kommer også fra sektorer for råmaterialer, inkludert gruvedrift, metallproduksjon samt produksjon av mineraler.

6.1.6.2 Sluttbrukerenheter

I kryssløpsmodellen er produksjonen av sluttbrukerenheter aggregert sammen med andre elektroniske og optiske produkter, hvorav mange ikke er relevante for denne analysen, i sektoren «Produksjon av datamaskiner og elektroniske og optiske produkter». Vi har brukt tilleggsstatistikk fra Statistisk sentralbyrå om omsetning per næring for å estimere utslipp knyttet til bruk av PC-er og husholdningselektronikk i Norge.⁴⁶ Produksjon av datamaskiner og tilleggsutstyr, kommunikasjonsutstyr og elektronikk til husholdningsbruk utgjorde cirka 14 % av omsetningen innen data- og elektronisk industri perioden 2018 til 2023. Denne faktoren er brukt til å justere resultatene.

⁴⁶ [12817: Foreløpige tall for antall foretak, sysselsatte og omsetning, etter næring \(SN2007\) og sysselsettingsgruppe 2016 - 2023. Statistikkbanken](#)

Tabell 6-3 oppsummerer hvor i verden utslipp oppstår som følge av Norges kjøp av elektronikk. Venstre side viser utslipp fordelt på sektorer og høyre side utslipp fordelt på region.

Over en tredjedel av utslippene skjedde i elektrisitetssektoren, hovedsakelig produsert i Kina, hvor energimiksen fortsatt er svært karbonintensiv (97 % av energien i Kina produseres ved bruk av kull). Dette er all indirekte energi som brukes i produksjonen av elektronikk og datamaskiner for norsk bruk. Kina er også en ledende produsent av elektronikk og den viktigste leverandøren av nødvendige råmaterialer, inkludert metaller og ikke-metalliske mineraler.

Den tredje største regionen som bidrar til utslippene fra innkjøp av elektronikk i Norge, er Russland som står for 4 % av totale utslippene. Utslippene fra Russland kommer hovedsakelig fra elektrisitetsproduksjon, produksjon av metaller og kjemisk industri.

Tabell 6-3: Kilder til utslipp for data- og elektroniske produkter-sektoren. Merk at Rest av Verden er en region i kryssløpsmodellen som omfatter mindre land som ikke eksisterer som egne regioner i databasen, mens «Andre» her er summen av alle utslipp som ikke inngår i topp 10.

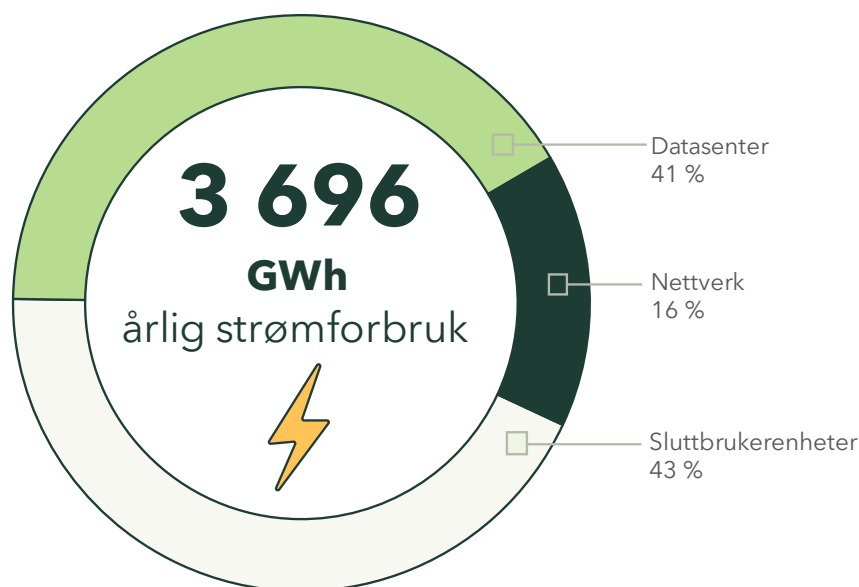
Utslippkilde fordelt på sektor, topp 10	CO ₂ e		Fordelt på land	CO ₂ e	
Elektrisitet	375 kt	37 %	Kina	600 kt	59 %
Metaller	135 kt	13 %	Rest av Verden	158 kt	16 %
Bergverksdrift	108 kt	11 %	Russland	36 kt	4 %
Ikke-metallholdige mineralprodukter	84 kt	8 %	USA	24 kt	2 %
Transport	83 kt	8 %	Sør-Korea	19 kt	2 %
Industri -kjemikalier	68 kt	7 %	Japan	19 kt	2 %
Tjenester	62 kt	6 %	Tyskland	18 kt	2 %
Primær	33 kt	3 %	India	16 kt	2 %
Data- og elektroniske produkter	29 kt	3 %	Polen	12 kt	1 %
Andre	39 kt	4 %	Andre	115 kt	11 %
Sum	1015 kt CO₂e		Sum	1015 kt CO₂e	

6.2. Energi

Som belyst i kapittel 6.1, er energi i form av strømforbruk den viktigste bidragsyteren til klimafotavtrykket. I de senere år har det også blitt tydelig at strøm er en knapphetsressurs, og det er derfor på sin plass å vurdere strømforbruk til digital infrastruktur adskilt fra klimafotavtrykket.

I Figur 6-9 vises fordelingen av strømforbruket i Norge mellom de tekniske segmentene kartlagt i analysen. Samlet energiforbruk for digital infrastruktur i Norge er estimert til 3,7

TWh, som tilsvarer 2,6 % av det samlede strømforbruket i Norge på 140 TWh.⁴⁷ Til sammenligning bruker en gjennomsnittlig husholdning i Norge 16 738 kWh strøm/år, slik at det samlede strømforbruket til digital infrastruktur tilsvarer forbruket til 231 000 norske husholdninger. Sluttbrukerenheter og datasenter står for mesteparten av strømforbruket, med ca. 40 % av totalt strømforbruk i digital infrastruktur hver.



Figur 6-9: Strømforbruk per teknisk segment i Norge

Strømforbruket er beregnet basert på ulike datakilder for de tekniske segmentene med varierende usikkerhet. For datasenter har vi fått samlet strømforbruk basert på tall fra Elhub. Dette regnes som datakilden med minst usikkerhet ettersom det er basert på målinger. For sluttbrukerenheter er gjennomsnittlig strømforbruk for hver type enhet estimert, og dette er summert opp ved å gange med antall enheter av hver type i bruk. For nettverk er det mottatt estimer for strømforbruk per basestasjon fra tårnselskapene. Estimaten er deretter skalert opp basert på antall sendere. Disse estimatene er derfor basert på noe primærdata, men inneholder også noen antagelser. De mest usikre estimatene for strømforbruk er for fastnett og transmisjons- og kjernenettet, hvor det mangler primærdata og estimer fra litteraturen er brukt. Siden strømforbruk har vist seg å være en viktig bidragsyter på miljøbelastningen til digital infrastruktur, er det relevant å raffinere estimatene i videre arbeid.

⁴⁷ [Energibruk - NVE](#)

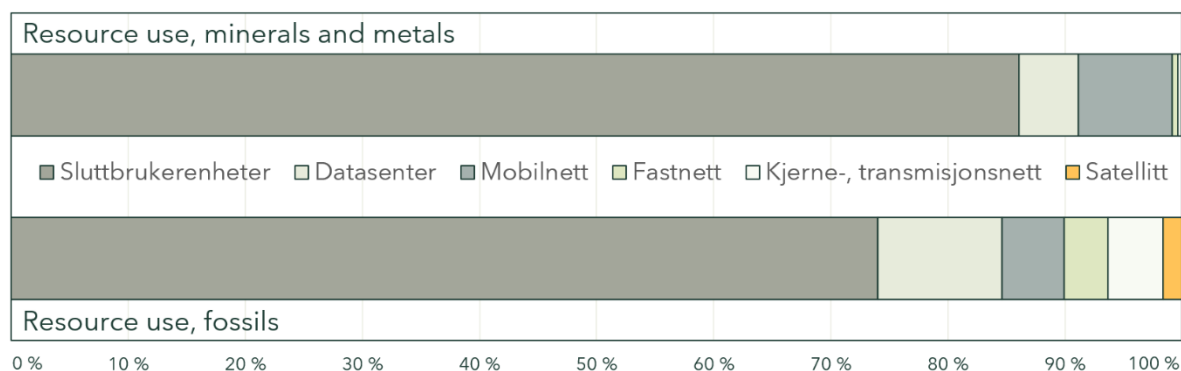
6.3. Ressursbruk

Det internasjonale ressurspanelets siste oppdatering⁴⁸ viser at det globale ressursforbruket har mer enn tredoblet seg de siste 50 årene og øker fortsatt med 2,3 % årlig. Ressursbruken fordeler seg på biomasse, mineraler og metaller og fossile ressurser. For digital infrastruktur er de to sistnevnte av størst betydning. Totalt sett står kommunikasjonssektoren for 2-3 % av det globale ressursforbruket, ifølge det internasjonale ressurspanelet.

Tilsvarende som for klimafotavtrykk måles **materialfotavtrykket** i form av bidrag gjennom hele verdikjeden fra utvinning av materialer, produksjon av delkomponenter, bruk og til slutt avhending etter endt levetid. Materialfotavtrykket måler derfor ikke kun hvor mye materialer som er *i bruk* i digital infrastruktur i Norge, men hvor mye ressurser som kreves globalt sett som input til den digitale infrastrukturen i Norge.

6.3.1. Fossil ressursbruk

Det totale forbruket av fossile ressurser for norsk digital infrastruktur i fysisk størrelse er 14 970 TJ per år, noe som tilsvarer cirka 510 tonn kull.⁴⁹ Som vist i Figur 6-10 er det sluttbrukerenheter etterfulgt av datasenter som i størst grad bidrar til forbruket av fossile ressurser.



Figur 6-10: Fordeling av materialfotavtrykket etter segment. Markedsbasert strømmiks er lagt til grunn for analysen.

6.3.2. Ressursbruk, vektet i forhold til ressursknapphet

Når en vurderer ressursforbruk, er ressursknapphet en viktig dimensjon. Figur 6-10 viser fordelingen av ressursbruk når en tar hensyn til ressursknapphet for henholdsvis metaller og mineraler, fordelt på teknisk segment. Resultatene er hentet ut fra livsløpsmodellen. I

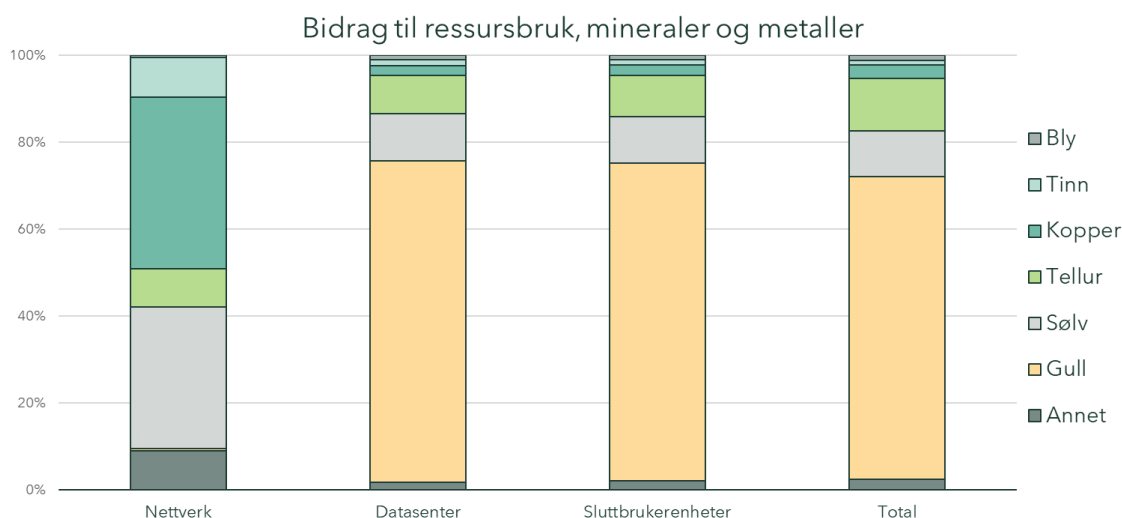
⁴⁸ "Bend the Trend: Pathways to a Liveable Planet as Resource Use Spikes." Global Resources Outlook. International Resource Panel, 2024.

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44902/GRO24_Summary_for_Policymakers.pdf?sequence=3.

⁴⁹ [Unit Converter - Data Tools - IEA](#)

Figur 6-10 vektet sjeldne metaller høyere enn mineraler og metaller som finnes i større omfang. Sluttbrukerenheter er den største bidragsyteren med 85 % til ressursknapphet, mens de andre segmentene bidrar betydelig mindre.

Figur 6-11 viser tilsvarende resultat vektet på materialtype i stedet for teknisk segment. Her er det synlig at sjeldne, edle metaller bidrar mest til ressursbruk. For sluttbrukerenheter og datasenter er gull den klart største bidragsyteren, mens kobber tett etterfulgt av sølv dominerer for nettverk. Kobbernettet er ikke medregnet i analysen siden det skal fases ut, så bidraget fra kobber er forårsaket av mobilnettet og dedikert strømnnett til basestasjoner.



Figur 6-11: Fordeling av bidrag til ressursbruk, mineraler og metaller etter material. Målt i kg Sb-ekvivalenter

6.3.3. Ressursbruk, målt i masse

Når vi ikke vektet med tanke på ressursknapphet er det totale materialfotavtrykket for norsk digital infrastruktur estimert til ca. 4 millioner tonn. Sluttbrukerenheter står for 50 % av dette, nettverkssegmentene bidrar med 38 %, og datasentre 12 %.

Materialfotavtrykket per innbygger fra digital infrastruktur er dermed 0,7 tonn. Til sammenligning er det samlede materialfotavtrykket per innbygger i EU fra alle deres aktiviteter i gjennomsnitt ca. 17 tonn.⁵⁰ En fersk rapport fra WWF og EY⁵¹ viser at det samlede materialfotavtrykket i Norge er 23,5 tonn per innbygger, mens Circularity gap report⁵² rapporterer et materialfotavtrykk på 44 tonn per innbygger for Norge. Disse tallene er ikke direkte sammenlignbare på grunn av ulike metoder, men gir en indikasjon

⁵⁰ "Bend the Trend: Pathways to a Liveable Planet as Resource Use Spikes." Global Resources Outlook. International Resource Panel, 2024.

⁵¹ <https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/en-no/campaigns/nature-has-limits/ey-no-nature-has-limits-10-2024.pdf>

⁵² <https://www.circularity-gap.world/norway>

på størrelsesorden. Vi estimerer at materialfotavtrykket for norsk digital infrastruktur utgjør 2-3 % av det totale materialfotavtrykket i Norge.

I resultatene vektet for ressursknapphet (Figur 6-11) ble gull, sølv, tellur og kobber identifisert som råmaterialene av størst betydning. Tabell 6-4 presenterer årlig materialbruk av disse i fysisk masse (tonn).

Tabell 6-4 Materialbruk i fysisk masse for gull, sølv, tellur og kobber, som var identifisert som de viktigste bidragsyterne til ressursbruk når resultatene var vektet med ressursknapphet.

Material	Total	Sluttbruker-enheter	Datasenter	Nettverk
 Gull	2 091 kg	1 891 kg	113 kg	87 kg
 Sølv	13,9 tonn	12,1 tonn	0,7 tonn	1 tonn
 Tellur	465 kg	314 kg	17 kg	134 kg
 Kobber	3 408 tonn	2 364 tonn	124 tonn	920 tonn

I 2023 lanserte EU "Critical Raw Materials Act"⁵³ som setter høye ambisjoner knyttet til bærekraftig og sikker forsyning av kritiske råmaterialer. EU har mål om at en større del av utvinning og bearbeiding skal skje i EU. I tillegg skal kapasiteten på resirkulering økes, noe som krever nye prosesser. De kritiske råmaterialer (CRM) definert av EU⁵⁴ er vist i Tabell 6-5 nedenfor.

Tabell 6-5: En liste over kritiske råmaterialer som definert av EU.

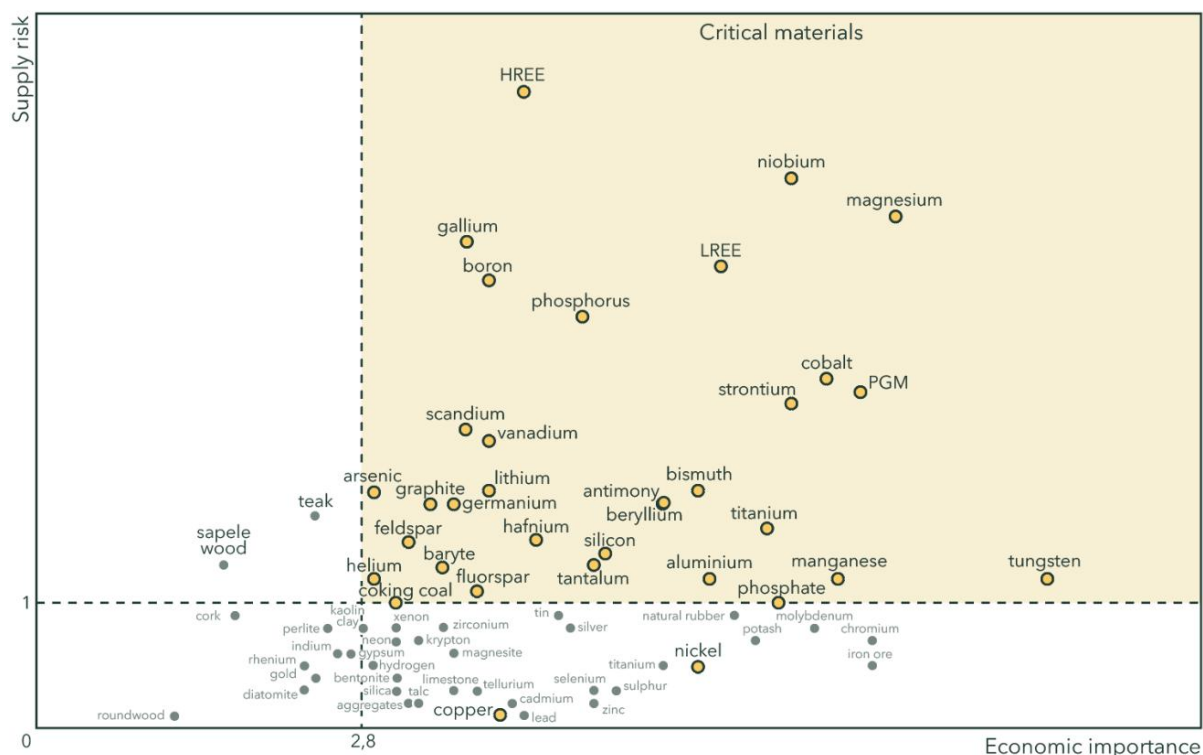
Kritiske råmaterialer 2023 (EU)			
Antimon	Kobber	Litium	Scandium
Arsen	Feltspat	Magnesium	Silisium
Aluminium/Bauxitt	Fluorspat	Mangan	Strontium
Barytt	Gallium	Naturlig grafitt	Tantal
Beryllium	Germanium	Nikkel til batterier	Titan
Vismut	Hafnium	Niob	Wolfram
Bor/borater	Helium	Fosfatstein	Vanadium
Kobolt	Tunge sjeldne jordartsmetaller	Fosfor	
Kull	Lette sjeldne jordartsmetaller	Platinametaller	

Figur 6-12 viser matrisen for hvordan kritiske råmaterialer er definert av EU, ved å se på sammenhengen mellom forsyningsrisiko og økonomisk signifikans. Definisjonen av kritiske materialer spriker dermed fra ressursknapphet på global basis ved at politiske forhold i EU

⁵³ [European Critical Raw Materials Act](#)

⁵⁴ <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/eu-critical-raw-materials>

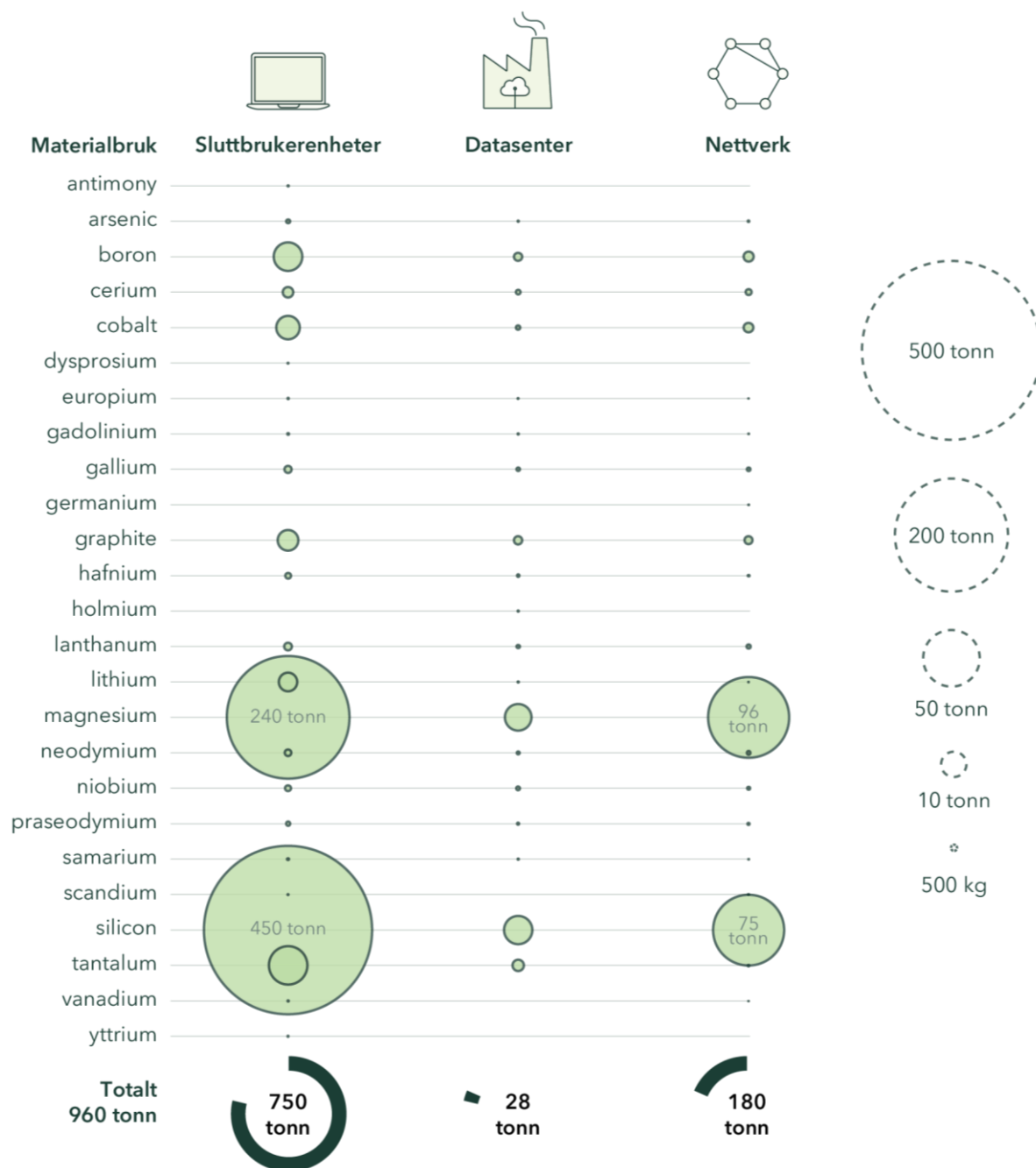
hensyntas. Kobber og nikkel faller ikke innenfor definisjonen av kritiske råmaterialer, men er vurdert allikevel til å være et strategisk råmateriale.



Figur 6-12: Kritiske råmaterialer som definert av EU, adaptert fra EUs 2023 studie⁵⁴

Figur 6-13 viser materialfotavtrykket for kritiske råmaterialer som definert av EU, i absolutte verdier. Det er estimert at den digitale infrastrukturen totalt sett krever ca. 1 000 tonn kritiske råmaterialer per år. Som vist er silisium, magnesium, tantal, bor, kobolt, grafitt og litium identifisert som de kritiske råmaterialene som blir brukt i størst omfang. Merk igjen at dette ikke er hvor mye materialer som er fysisk i omløp i Norge, men hvor mye som inngår totalt i verdikjeden til digital infrastruktur.

Materialfotavtrykk (absolutt) for kritiske råmaterialer for digital infrastruktur



Figur 6-13: Visuell fremstilling av det absolutte materialavtrykket for sjeldne materialer til digital infrastruktur i Norge. Dataene finnes i tabellformat i Appendiks 9.7.

Bakgrunnsdatabasen som er benyttet i analysen, ecoinvent, har blitt vist av noen studier å underestimere mengden med grunnstoffer som brukes i små mengder i elektronikk;⁵⁵ det er derfor sannsynlig at de reelle mengdene av noen sjeldne grunnstoffer er høyere.

⁵⁵ Fernando Andres Peñaherrera Vaca, "Analysis of Interactions between Raw Material and Energy Demands for Data Centers" (Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2024), <https://d-nb.info/132462843X/34>.

Som for klimafotavtrykket er det viktig å presisere at fysisk utstyr (IT utstyr, bygningsmasse, støttesystemer for strøm og kjølesystemer) er utelatt for kryptoutvinningssegmentet i datasenter, slik at materialfotavtrykket for datasentersegmentet er underslått med inntil 1/3.

6.4. Natur



Naturmangfold og tap av (verdifull) natur er i dag ikke fullstendig dekket av LCA på tross av at dette har vært forsøkt i mange år. I motsetning til globale klima- og naturpåvirkninger, f.eks. klimapåvirkning, er det flere utfordringer med å inkludere biodiversitetsvurderinger i

LCA-analyser. Dette er nettopp fordi biodiversitet er avhengig av hvilke økosystemer som påvirkes lokalt, og på hvilken måte. Det er derimot kjent at arealbruk er den største driveren for tap av biodiversitet,⁵⁶ og direkte beslaglagt areal er derfor kartlagt i denne studien for å gi en indikasjon på hvordan naturmangfold påvirkes av digital infrastruktur. Dette understrekes at dette kun omfatter det fysiske avtrykket til infrastrukturen, og inkluderer ikke eventuelle «impact area» - altså et område rundt som er påvirket av naturinngrepet.

Tabell 6-6 viser beslaglagt areal som er kartlagt per teknisk segment, som er til sammen 0,9 km². Dette tilsvarer 130 fotballbaner.

Tabell 6-6: Beslaglagt areal per teknisk segment

Segment	Beslaglagt areal [m ²]
Sluttbrukerenheter	-
Nettverk	236 500
Datasenter	690 585
Totalt	927 085

Sluttbrukerenheter regnes ikke for å beslaglegge areal. Bakkestasjonene for satellittsegmentet beslaglegger areal, men dette er ikke inkludert i analysen.

For nettverk er arealet forbundet med hver lokasjon beregnet. Noderom er inkludert, hvor det regnes med at ca. halvparten er i frittstående bygg (mange er i andre bygninger), og at

⁵⁶ Jaureguiberry, Pedro et al. "The Direct Drivers of Recent Global Anthropogenic Biodiversity Loss." *Science Advances* 8, no. 45 (November 11, 2022): eabm9982. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982>

hver noderom beslaglegger 15 m². Tilsluttet vei til lokasjoner er ikke kartlagt, men det er et fåtall lokasjoner som har egne veier.

Dette er kunne direkte beslag som tas hensyn til; for eksempel barduner fra master er det mulig å argumentere for at beslaglegger areal ved at de hindre fri ferdsel av dyr.

Arealbeslaget fra nettverk er derfor et nedre estimat.

Legging av fiberkabel har betydelig påvirkning på CO₂-utslipp, men regnes ikke inn i arealregnskapet. Fiberkabel som er gravd ned er stort sett lagt i tettbygd strøk og langs eksisterende veier, mens fiberkabel i griseendte strøk ofte føres i lufta.

For datasenter, er størrelsen på tomte datasenteret står på benyttet som beslaglagt areal, uavhengig av hvor stor del av tomte som dekkes av bygninger. Datasenter som er under bakken (Lefdal Mines og Green Mountain Rennesøy) regnes som arealløs. Det er også kjent at flere datasenter tar i bruk eksisterende bygg og beslaglegger dermed ikke nytt areal, men i denne studien er alle tomter behandlet likt, uavhengig av når arealbruksendringene skjer. En grov mangel er også fysisk infrastruktur for datasenter som spesialiserer seg på kryptoutvinning, hvor arealbeslaget er ukjent.

Datasenterindustrien er i sterk vekst og beslaglagt areal ventes å øke kraftig i kommende år. Nye datasenter som ble oppført i 2024, nemlig Green Mountain på Hamar, og Bulk Infrastructure i Kristiansand, står for mer enn halvparten av arealet beslaglagt av datasenter. Tomtene disponert av disse datasentrene er langt større enn det som er utviklet. Tilsvarende disponerer Google en tom i Skien på 2 kvadratkilometer.⁵⁷

På sikt vil det kunne være interessant å kvantifisere endring i naturmangfold på norsk jord som følge av digital infrastruktur, men en slik studie krever at man kartlegger hva slags natur som bygges ned som følge av utbygging av mobilnett, datasenter, mm.

Miljødirektoratet har sammen med NTNU satt i gang et større arbeid for å lage et heldekkende kart over biodiversitet i Norge. Med dette kartet vil det være mulig å koble aktivitet innenfor Norges grenser til mulig endring i naturmangold.⁵⁸

6.5. Andre og høyere ordens effekter

For å kunne si noe om netto bærekraftkraft fra digital infrastruktur må man inkludere både positive og negative virkninger. Denne analysen tar kun for seg førsteordens eller direkte effekter assosiert med livsløpet til digital infrastruktur i Norge. Det vil si at de positive ringvirkningene av å ha en digital infrastruktur ikke er inkludert.

⁵⁷ [Velkommen, Google! - Skien kommune](#)

⁵⁸ [Modellering av heldekkende utbreiingskart for arter - miljødirektoratet.no](#)

Digital infrastruktur har positive bærekraftvirkninger, og muliggjør mange teknologier som kreves for grønn omstilling. Denne rapporten er et bidrag til en mer kunnskapsbasert tilnærming til fotavtrykket fra digital infrastruktur. En helhetlig diskusjon om bærekraft og digital infrastruktur inkludere flere perspektiver enn kun denne rapporten, og særlig viktig vil det da være å fokusere på netto bærekraftvirkning ved bruk av digital infrastruktur og tjenester.

Andreordens effekter er indirekte påvirkninger ved endring i andre aktiviteter som følge av løsningen, i dette tilfelle digital infrastruktur, mens høyere ordens effekter er strukturelle endringer som følge av andre ordens effekter. Dette er i sum det EU kaller for «twin transition», og som ofte blir kalt «grønn og digital omstilling» i norske offentlige dokumenter.

I dette kapittelet oppsummeres kort typiske andreordens effekter som vil være sammenlignbare med fotavtrykket, det vil si effekter som har en klima- og naturkomponent. Det er ikke en fullstendig gjennomgang av alle typer effekter, men heller et overblikksbilde for å belyse ulike tema som burde tas hensyn til. European Green Digital Coalition har lagt fram en omfattende metodikk for å måle nettoeffektene for IT-løsninger ved systematisk gjennomgå andre- og høyere ordens effekter.⁵⁹ Metodikken kan benyttes som startpunkt for videre arbeid på dette temaet.

Substitusjonseffekten er når en teknologi erstatter en annen. I digitalisering dreier dette seg ofte om at et fysisk produkt eller prosess substitueres av et digitalt alternativ, som videostrømming for DVDer, digitale dokumenter for dokumenter i papir, møter på telefon eller video for lange reiser. I mange tilfeller slår dette positivt ut: det er for eksempel anslått at nedlastning av musikk førte til en 65% reduksjon i klimafotavtrykk i forhold til tradisjonelt salg av fysiske plater.⁶⁰

Substitusjon er ikke nødvendigvis utelukkede positivt. E-handel er en viktig substitusjon som har kommet som følge av digitalisering. Litteraturen er blandet angående hvorvidt e-handel har en netto positiv gevinst, da det ikke nødvendigvis fører til effektivisering (se Börjesson et al. (2014)). Faktorer som fraktmetode og avstander, i forhold til hvor langt en konsument ellers ville ha reist for å kjøpe en tilsvarende vare, spiller en rolle i effektivitetsforskjellen.

Tilbakeslagseffekten («rebound effect») er når effektivisering på ett område fører til et overskudd som brukes på et annet område. Dermed blir nettoeffektene av effektiviseringen mindre enn forventet, eller i verste fall negative. I digitalisering ser vi for

⁵⁹ <https://www.greendigitalcoalition.eu/net-carbon-impact-assessment-methodology-for-ict-solutions/>

⁶⁰ Börjesson Rivera, Miriam, Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt, and Göran Finnveden. "Including Second Order Effects in Environmental Assessments of ICT." *Environmental Modelling & Software* 56 (June 2014): 105-15. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>.

eksempel tilbakeslagseffekt når mobilnettene blir raskere og mobildata billigere. Dette fører til en økning i trafikk og dermed en økning i etterspørsel som igjen krever at det bygges mer infrastruktur. En studie om finsk mobilnett fant en forbedring i energieffektivitet til mobilnettet fra 12.35 kWh/GB i 2010 til 0.3 kWh/GB i 2017, men strømforbruket til mobilnettet totalt økte med ca. 10%.⁶¹

Tilbakeslagseffekten kan redusere gevinsten til subsitusjonseffekter. Et eksempel er effektene av å jobbe hjemmefra som er muliggjort av digitalisering. Det er åpenbart at å jobbe hjemmefra kan bidra til å redusere transportbehov. Samtidig fører det til at det brukes mer strøm, siden varme og lys står på større deler av dagen, og at mange investerer i et nytt sett med utstyr (møbler, skjerm, osv.) til hjemmekontoret. Tilgang på hjemmekontor kan også føre til at folk velger å bosette seg mindre sentralt og dermed øke behovet for transport ellers i hverdagen. Kort sagt er det mange faktorer som gjør det utfordrende å anslå gevinsten av å ha hjemmekontor,⁶² og tilsvarende diskusjoner vil prege alle aspekter ved digitalisering.

Inntoget av tingenes internett (internet of things / IoT) fører til en økning i antall digitale enheter i husholdninger og bedrifter, en mulig mangedobling i mengden data skapt, men også mulige energigevinster. Energigevinstene kan enten være besparelser ved å automatisk justere prosess slik at det ikke brukes unødvendig energi, eller optimalisering i tid slik at for eksempel lading av elbil kan skje når priser er lave, som ofte samsvarer med når strømmen har lavest klimafotavtrykk. Dette kan føre til lavere strømregninger, som igjen kan trigge tilbakeslagseffekten, ved at pengene som er spart brukes til noe annet. Se for eksempel Bjelle et al. (2018) for en analyse av hvordan ulike forbruksmønstre kan ha ulik tilbakeslagseffekt.⁶³

⁶¹ Williams, Laurence, Benjamin K. Sovacool, and Timothy J. Foxon. "The Energy Use Implications of 5G: Reviewing Whole Network Operational Energy, Embodied Energy, and Indirect Effects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 157 (April 2022): 112033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112033>.

⁶² O'Brien, William, and Fereshteh Yazdani Aliabadi. "Does Telecommuting Save Energy? A Critical Review of Quantitative Studies and Their Research Methods." *Energy and Buildings* 225 (October 2020): 110298. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110298>.

⁶³ Eivind Lekve Bjelle, Kjartan Steen-Olsen, and Richard Wood, "Climate Change Mitigation Potential of Norwegian Households and the Rebound Effect," *Journal of Cleaner Production* 172 (January 2018): 208-17, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.089>.

7. Validering og følsomhetsanalyse

Dette kapittelet sammenligner resultatene av denne studien med resultater fra lignende studier og kryssløpsanalysen, og presenterer resultatene av følsomhetsanalysen som bidrar til å kvantifisere usikkerheten i resultatene.

7.1. Validering

7.1.1. Sammenligning med andre internasjonale studier

Resultatene for klimafotavtrykket er validert ved å sammenligne med ofte siterte studier med nasjonalt eller globalt omfang, som oppsummert i Tabell 7-1. De to Malmodyn-studiene (for henholdsvis Sverige og verden) tar kun for seg klimafotavtrykket, mens ADEME-studien (for Frankrike) tar for seg flere miljøindikatorer og er sammenlignet i større detalj i kapittel 7.1.2.

Klimafotavtrykket per tekniske segment er delt på antall innbyggere omfattet av de aktuelle studiene for å gjøre resultatene sammenlignbare. Det samlede klimafotavtrykket funnet av denne studien er relativt likt resultatene av ADEME-arbeidet for Frankrike (247 kgCO₂e/pers/år for Frankrike mot 204 kgCO₂e/pers/år for Norge).

Malmodyn's studie for Sverige derimot skiller seg ut ved langt høyere resultater (379 kgCO₂e/pers/år for Sverige mot 230 kgCO₂e/pers/år for Norge). Forskjellen er størst for datasenter. Analysen deres omfatter energibruk i kontor, forretningsreiser, servicebiler og ansattpendling, som kan forklare en del av forskjellene. Malmodyn's studie for Sverige er også publisert i 2014 med 2010-data, og teknologiene i bruk vil derfor ikke være direkte sammenlignbare.

Malmodyn's globale estimer er langt lavere (113 kgCO₂e/pers/år), men det er også forventet at det er mindre digital infrastruktur per innbyggere globalt enn i velstående land med høy grad av digitalisering som Norge.

Tabell 7-1: Sammenligning av resultater fra denne analysen med andre, internasjonale studier

Studie	Geografisk omfang	Enhet	Sluttbruker-enheter	Nettverk	Datasenter	Tjenester	Sum	Personer
ADEME (2022) ⁶⁴	Frankrike	tonn CO ₂ e/år	1,32E+07	2,20E+01	2,87E+02	-	1,32E+07	6,80E+07
		kg CO ₂ e/pers	194	14	40	-	247	
Malmodin et al. (2024) ⁶⁵	Global	tonn CO ₂ e/år	4,36E+08	1,86+08	1,75E+08	-	8,25E+08	7,79E+09
		kg CO ₂ e/pers	56	24	22	-	113	
Malmodin & Lunden (2014) ⁶⁶	Sverige	tonn CO ₂ e/år	1,40E+06	4,50E+05	8,00E+05	1,00E+05	2,65E+06	7,00E+06
		kg CO ₂ e/pers	200	64	114	14	379	
Denne studien (2024)	Norge	Tonn CO ₂ e/år	8,68E+05	1,65E+05	1,06E+05	0,97E+05 ⁶⁷	1,14E+06	5,59E+6
		Kg CO ₂ e/pers	155	30	19	17	204 (221 med tjenester)	

7.1.2. Sammenligning med Frankrike / ADEME-Arcep

Denne studien er til dels inspirert av arbeid gjennomført av det franske miljødepartementet ADEME i samarbeid med Arcep, som også har gjennomført en analyse av digital

⁶⁴ Perasso, Etienne Lees, Léo Corbet, Pierrick Drapeau, Louis Ollion, Valentine Vigneron, Damien Prunel, Julie Orgelet, and Frédéric Bordage. "Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France." ADEME, 2022.

⁶⁵ Jens Malmodin et al., "ICT Sector Electricity Consumption and Greenhouse Gas Emissions – 2020 Outcome," *Telecommunications Policy* 48, no. 3 (April 2024): 102701, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102701>.

⁶⁶ Malmodin, Jens, Dag Lundén, Åsa Moberg, Greger Andersson, and Mikael Nilsson. "Life Cycle Assessment of ICT: Carbon Footprint and Operational Electricity Use from the Operator, National, and Subscriber Perspective in Sweden." *Journal of Industrial Ecology* 18, no. 6 (December 2014): 829–45. <https://doi.org/10.1111/jiec.12145>.

⁶⁷ Estimert fra kryssløpsanalysen; ikke inkludert i summen presentert i resultatene for øvrig

infrastruktur i Frankrike med til dels sammenfallende systemgrenser og metode.⁶⁸ Det er derfor naturlig å sammenligne både metoden og resultatene.

7.1.2.1 Metodikk

Følgende vesentlige metodiske forskjeller er identifisert mellom ADEME-arbeidet og denne studien:

- For sluttbrukerenheter er docking-stasjoner, prosjektorer, skrivere, eksterne harddisker og USB-nøkler neglisjert i dette studiet på grunn av manglende data, men tatt med i ADEME-arbeidet. I resultatene til ADEME utgjorde disse kategoriene til sammen 10 % av miljøpåvirkningene innenfor klimaendring, hvor skrivere utgjør nesten halvparten. Det er derfor rimelig anta at klimafotavtrykket for sluttbrukerenheter er underestimert med ca. 10 % basert på denne faktoren alene.
- Denne studien mangler data om routere, multiplexere og annet utstyr i bruk i transmisjons- og kjernenettet, mens det er inkludert i ADEME-arbeidet. I følge ADEME står kjernenettet for 13 % av klimagassutslippene til fastnettet og 9 % av klimagassutslippene til mobilnettet,⁶⁹ men dette inkluderer strømforbruk som vi tar høyde for i analysen. Å utelate utstyr i kjernenettet underestimerer klimafotavtrykket i denne studien, men med mindre enn 10 %.
- Modellen for datasenter er bygd opp på svært ulike måter. ADEME bruker datasalareal som grunnenhet for beregningene, mens i dialog med Norsk Datasenterindustri er det her benyttet MW kapasitet. ADEME inkluderer også serverrom i bedrift (kalt enterprise-segmentet) som er utelatt i denne studien, igjen etter dialog med Norsk Datasenterindustri som indikerer at dette er et segment som krymper voldsomt og derfor allerede eller i ferd med å bli neglisjerbar.
- ADEME-arbeidet utelater satellitter, men det er tatt med i denne studien.
- ADEME-arbeidet kartlegger ikke beslaglagt areal som en del av sine studier, mens det er inkludert her.

7.1.2.2 Resultater

Figur 7-1 viser en sammenligning av klimagassutslipp per innbygger for Norge og Frankrike. Fotavtrykket per innbygger for Frankrike (for 2020) er estimert til 248 kgCO₂e/år, mens fotavtrykket per innbygger for Norge (for 2024) er 204 kgCO₂e.

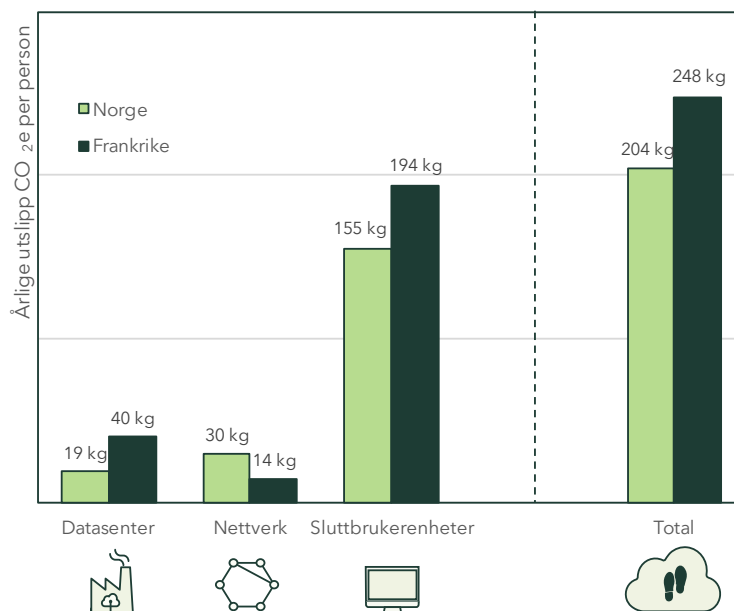
Forskjellene kan antageligvis forklares i stor grad av ulikhetene mellom klimautslippsfaktoren for strøm. Som vist gjennomgående i kapittel 6.1, er strøm den viktigste driveren til klimafotavtrykket. Til sammenligning med Frankrike er lokasjonsbasert

⁶⁸ Etienne Lees Perasso et al., "Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France" (ADEME, 2022).

⁶⁹ Louise, AUBET, RABOT Anne, BITARD Léa, and RIOLO Constant. "Evaluation of the Environmental Footprint of Internet Service Provisioning in France." ADEME, March 2024.

strømmiks, som for Norge består hovedsakelig av vannkraft med lavt klimafotavtrykk, benyttet. Frankrike har benyttet en tilsvarende nasjonal miks, men strømmiksen i Frankrike er i noe mindre grad fornybar.

Klimagassutslipp per innbygger



Figur 7-1: Klimafotavtrykk omregnet per innbygger, sammenlignet med resultatene fra ADEME-arbeidet

Klimafotavtrykket for nettverk skiller seg ut ved at det er langt høyere i Norge (30 kgCO₂e/innbygger/år) enn i Frankrike (14 kgCO₂e/innbygger/år). I denne studien er satellitter inkludert i nettverk, mens det er utelatt i ADEME-arbeidet. Satellitter står allikevel kun for 12 % av utslippene til nettverkssegmentet, som forklarer kun 4 av det observerte spriket på 16 kgCO₂e. Enn sannsynlig forklaring er forskjeller i mengde infrastruktur som kreves for å ha et fungerende nettverk i Norge kontra Frankrike. Norge har relativt spredt bebyggelse og dermed kreves flere basestasjoner per innbygger og lengre ledningsføring for å sikre god dekning i både fastnett og mobilnett. Det er for eksempel 37 200 basestasjoner i Frankrike,⁷⁰ som tilsvarer ca. 0,6 lokasjoner per tusen innbyggere. I Norge er det 17 414 lokasjoner, som tilsvarer ca. 3,1 lokasjoner per tusen innbyggere. Det er liten grad av samlokalisering av basestasjonene i Norge; 26 % av basestasjoner har to eller flere operatører. Disse forskjellene speiler seg i klimafotavtrykket.

For sluttbrukerenheter er klimafotavtrykket per innbygger noe høyere i Frankrike enn i Norge. Analysen i Frankrike hadde noe større omfang av produkter da de inkluderte skrivere, prosjektorer og harddisker, som er utelatt her på grunn av manglende data. Disse

⁷⁰ Louise, AUBET, RABOT Anne, BITARD Léa, and RIOLO Constant. "Evaluation of the Environmental Footprint of Internet Service Provisioning in France." ADEME, March 2024.

utgjør 6.8% av klimafotavtrykket i ADEME-arbeidet, slik at dette forklarer omtrent 10 kg av de observerte forskjellene. Samtidig er det antatt høyere strømforbruk per enhet for mange av sluttbrukerenhetene i Frankrike, der vi mener at denne studien har mer oppdaterte estimater.

Det samlede materialfotavtrykket er beregnet til 0,95 tonn per innbygger i Frankrike og 0,71 tonn per innbygger i Norge. Norge har høyt forbruksnivå og høyest EE-avfall per innbygger i Europa, slik at det hadde vært naturlig å forvente høyere materialfotavtrykk; forskjellene i omfang som beskrevet for sluttbrukerenheter kan forklare forskjellene.

Tabell 7-2 viser en sammenligning av resultatene for strømforbruk, uttrykk i kWh/innbygger, for Norge og Frankrike. Strømforbruk i datasenter i Frankrike er lavere enn i Norge. Systemgrensene skiller seg litt mellom studiene; serverrom i bedrifter er utelatt i denne analysen, men disse er inkludert i Frankrike og har relativt stort omfang (35% av det totale kartlagte areal). Grunnlaget som ADEME har brukt for å kvantifisere serverrom i bedrift er utdatert, og dette er et segment i sterk nedgang. Norske datasenter har langt lavere PUE (1,2 i gjennomsnitt) enn Frankrike (1,69 i gjennomsnitt), slik at det er å forvente lavere strømforbruk per installert effekt.

Tabell 7-2: Strømforbruk (i bruksfasen) per innbygger, sammenligning mellom Norge og Frankrike

Strømforbruk per innbygger	Norge 	Frankrike 
Datasenter	274 kWh	161 kWh
Nettverk	102 kWh	102 kWh
Sluttbrukerenheter	286 kWh	459 kWh
Totalt	662 kWh	721 kWh

Samtidige er metodene forskjellige nok til at resultatene ikke er direkte sammenlignbare. For Frankrike er strømforbruk beregnet nedenfra-og-opp ved å anta strømforbruk i IT utstyr, kjølesystemer, osv., mens for Norge er måledata fra Elhub brukt. Elhubdataene omfatter alle målepunkter som er registrert som datasenter og har derfor noe usikkerhet. De innsamlede dataene for Norge og Frankrike om datasenter er ellers så forskjell at de ikke lar seg sammenligne direkte.

Frankrike har i tillegg funnet langt høyere strømforbruk i sluttbrukerenheter; dette skyldes en kombinasjon av høyere antatt strømforbruk per enhet og større omfang av enheter. Strømforbruket per enhet benyttet i ADEME studien er tatt fra en EU-studie fra 2020, mens

vi har hentet nyere tall oppgitt av produsenter i product environmental footprint rapporter.⁷¹

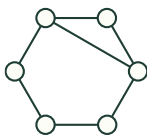
Beslaglagt areal er ikke beregnet for Frankrike av ADEME.

7.1.3. Sammenligning med kryssløpsanalyse

Kryssløpsanalyse (beskrevet i kapittel 4.2) benyttes til å anslå påvirkningen av elementer som er utelatt fra LCA-modellen, som ulike datapunkter skissert i kapittel 5 og effekten av IT-tjenester, som stort sett ikke dekkes av LCA-modellen.

I kryssløpsmodellen er telekommunikasjonssektoren antatt overlappende med det tekniske segmentet nettverk i livsløpsanalysen. Sektoren for produksjon av data- og elektronikk inneholder noe mer enn det som er inkludert i sluttbrukerenheter, som medisinsk og optisk måleutstyr, men dette er forsøkt justert for i resultatene. Tabell 7-3 viser samlet klimafotavtrykk for sektoren telekommunikasjon, og det justerte fotavtrykket for produksjon av data og elektronikk.

Tabell 7-3: Sammenligning av totalt klimafotavtrykk ifølge livsløpsanalysen (LCA) og kryssløpsanalysen

Teknisk segment	LCA	Kryssløpsanalyse
Sluttbrukerenheter 	694 ktonn	1015 ktonn
Nettverk 	165 ktonn	262 ktonn (1583 ktonn med kapital slit)

2022 er benyttet som basisår for kryssløpsanalysen, ettersom det var det nyeste tilgjengelige modellåret. Dette utgjør en viss feilkilde, men utslippsfaktorer, volumer og internasjonale handelsmønstre vil trolig ikke avvike altfor mye over et såpass kort tidsperspektiv.

Det er å forvente at resultatene fra kryssløpsanalysen gir vesentlig høyere fotavtrykk enn LCA, ikke minst innen tjenesteytende sektor som telekommunikasjon. Kryssløpsanalyse har mer fullstendige systemgrenser (ingenting er utelatt), inkluderer tjenester som ikke omfattes av LCA, og kapital slit som slitasje på bygg, maskiner og transport inkluderes. Kapital slit består av fysiske komponenter som bygninger, kjøretøy, fabrikk og maskiner, og

⁷¹ "ICT Impact Study." European Commission. Accessed June 28, 2024.
[https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf).

immateriell realkapital som programvarer, databaser, forskning og utvikling, som ikke dekkes tilstrekkelig av LCA. Kapitalslit omfatter også indirekte kapital, som maskinene som brukes til å produsere elektroniske komponenter, som ikke fanges opp fullstendig av LCA.

Forskjell mellom LCA og kryssløpsanalyseresultatene for nettverkssegmentet skyldes i hovedsak tjenester som diskutert i kapittel 6.1.4, når vi ikke tar hensyn til kapitalslit. Resultatene for kryssløpsanalyse av nettverk (telekommunikasjonssektoren) når det er tatt hensyn til kapitalslit viste seg å være ca. 10 ganger så store som resultatene fra LCA. Det er imidlertid betydelig usikkerhet i fordelingen av kapital i modellen, og disse resultatene bør betraktes som et grovt estimat.

Resultatene av kryssløpsanalysen gir en indikasjon av størrelsesorden på det som er utelatt fra modellen, uten at det anses som et bedre estimat for det samlede fotavtrykket.

7.2. Følsomhetsanalyse

For å ta høyde for usikkerhet i datainnhenting er det gjennomført en følsomhetsanalyse. Det er gjort et utvalg av parametre som anses som usikre, og som bidragsanalyse har vist er vesentlige. Parameterne er variert mellom en lav og høy terskel for å gi et høyt og lavt estimat på klimafotavtrykket i forhold til referanse, som oppsummert i Tabell 7-4.

Parameterne er variert enten ved 1) å bruke høyeste og laveste estimat funnet i analysen; 2) justere +/- 10 % i forhold til referanse for verdier med antatt middels usikkerhet; 3) justere med +/- 20 % i forhold til referansen for verdier med antatt høy usikkerhet.

Tabell 7-4: Oversikt over parametre som er variert i følsomhetsanalysen

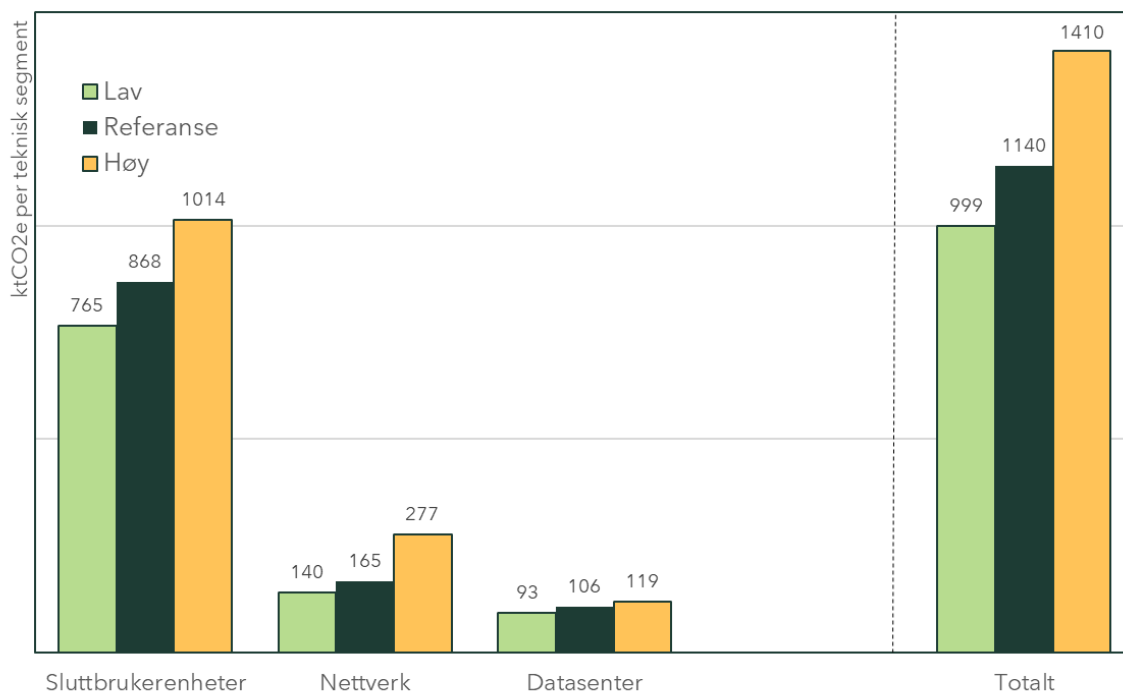
Parameter	Lav	Høy
<i>Sluttbrukerenheter</i>		
Antall IoT enheter	31 millioner (laveste anslag)	95 millioner (høyeste anslag)
Antall - andre sluttbrukerenheter	- 10 % ift. referanse	+10 % ift. referanse
WiFi-router per abonnent	1	4
Set-top boks per abonnent	1	2
Energibruk IoT enheter	-20 % ift. Referanse	+20 % ift. referanse
Energibruk - øvrige sluttbrukerenheter	- 10 % ift. referanse	+10 % ift. referanse
<i>Fastnett</i>		
Strømforbruk	-20 % ift. referanse	+20 % ift. referanse
Antall kabel per grøft	8	1
Meter kabel per abonnent	50	150 (etter anslag fra Fiberforeningen)
<i>Mobilnett</i>		
Strømforbruk	-20 % ift. referanse	+20 % ift. referanse

Parameter	Lav	Høy
Avstand fra basestasjon til noderom	-20 % ift. referanse	+20 % ift. referanse
<i>Satellitt</i>		
Strømforbruk	-20 % ift. referanse	+20 % ift. referanse
<i>Datasenter</i>		
Strømforbruk	- 10 % ift. referanse	+10 % ift. referanse
Dieselforbruk i aggregat	-20 % ift. referanse	+20 % ift. referanse
Mengde servere	-20 % ift. referanse	+20 % ift. referanse

Figur 7-2, Figur 7-3 og Figur 7-4 til viser resultatene av følsomhetsanalysen for henholdsvis klimafotavtrykk, fossile ressurser og ressursbruk av materialer og mineraler. Verdiene «høy» og «lav» for hvert segment kan betraktes som en øvre og nedre grense for fotavtrykket.

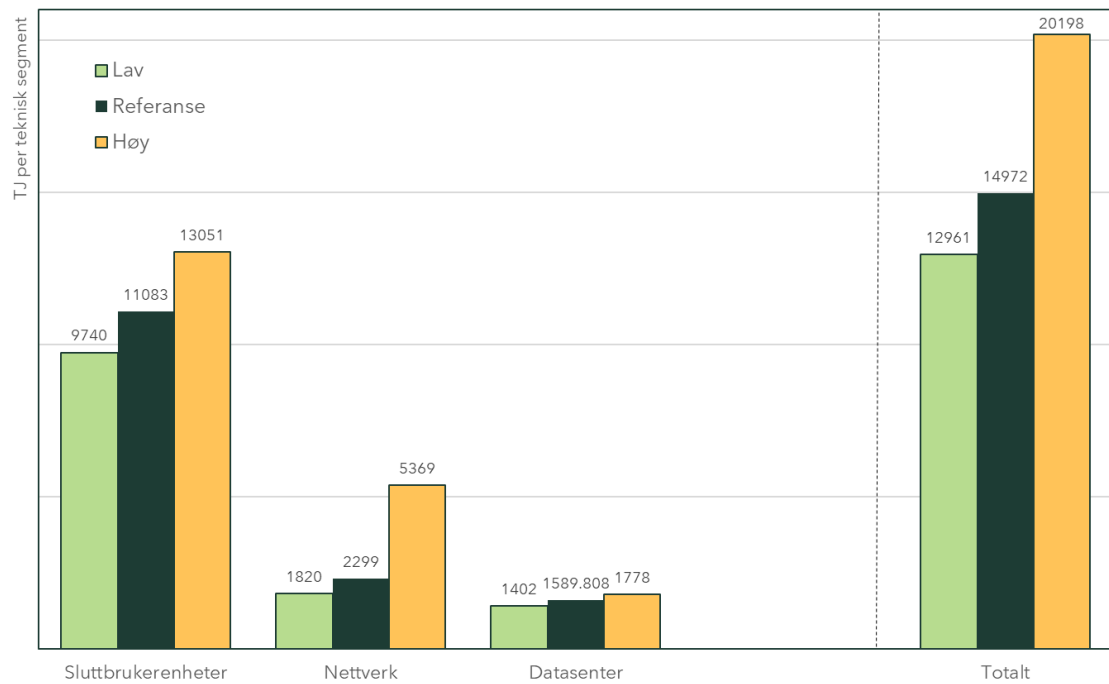
Følsomhetsanalysen omfatter ikke effekter som er utelatt fra modellen, men kvantifiserer usikkerheten i dataene som er samlet inn.

Følsomhetsanalyse - klimafotavtrykk



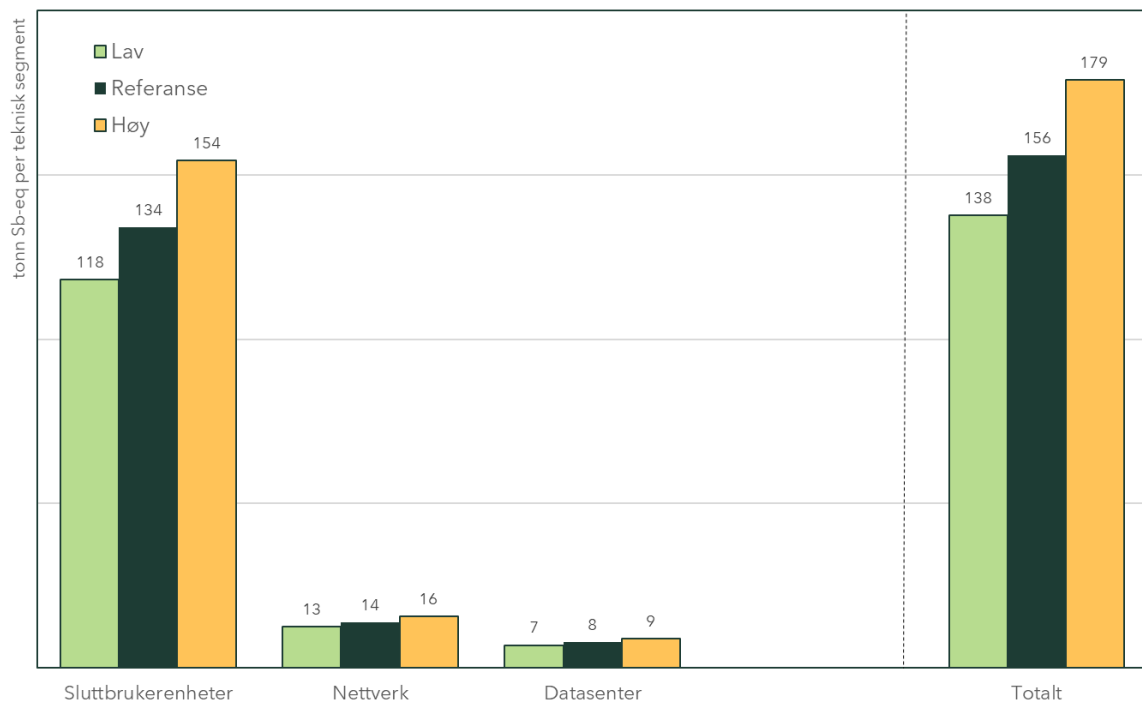
Figur 7-2: Resultatene av følsomhetsanalysen for klimafotavtrykket, som viser lavt og høyt estimat for hvert teknisk segment

Følsomhetsanalyse - ressursbruk, fossilt



Figur 7-3: Resultatene av følsomhetsanalysen for ressursbruk, fossilt, som viser lavt og høyt estimat for hvert teknisk segment

Følsomhetsanalyse - ressursbruk, mineraler & metaller



Figur 7-4: Resultatene av følsomhetsanalysen for ressursbruk, mineraler & metaller, som viser lavt og høyt estimat for hvert teknisk segment

8. Konklusjon og videre arbeid

Denne studien er den første som kvantifiserer klima- og naturpåvirkningen til digital infrastruktur i Norge. Studien viser at klimafotavtrykket er like stort som direkte utslipp fra innenriks luftfart, at energiforbruk utgjør 2,6 % av det samlede strømforbruket i Norge, og at hver nordmann har et materialfotavtrykk på 0,7 tonn fra digital infrastruktur. Selv om digitale tjenester kan framstå som svevende i skyene, har de et høyst reelt fotavtrykk.

Fokuset i studien har vært å kvantifisere fotavtrykket for digital infrastruktur i drift i Norge i 2024. Det er allikevel på sin plass å trekke fram noen konklusjoner rundt forbedringspotensialet og mulige tiltak for å redusere fotavtrykket fremover.

Sluttbrukerenheter utgjør den største delen av fotavtrykket innenfor både klima og ressursbruk. Å forlenge levetiden til sluttbrukerenheter og dermed redusere omsetningen vil føre til betydelige reduksjon i disse fotavtrykkene.

For nettverk viser analysen at fastnett leverer data mer fotavtrykkseffektivt enn mobilnettet, et funn som sammenfaller med tilsvarende analyser fra andre land. Å begrense trafikken i mobilnettet vil derfor kunne ha positive klima- og naturpåvirkninger. Dette er lite kjent for forbrukere, som nå er blitt vant til større mengder inkludert data i mobilabonnement, og hastigheter som tillater nettverksaktivitet på tilnærmet samme nivå på fast- og mobilnett.

Påvirkningen til mobilnettet er i stor grad avhengig av antall lokasjoner. Flere operatører som deler samme lokasjon, vil derfor kunne ha positive virkninger. Dagens statistikk viser at kun 26 % av lokasjoner har mer enn én operatør. Tilsvarende gjelder for fastnettet, hvor det i dag i liten grad deles infrastruktur mellom flere operatører.

I fast-, transmisjons- og kjernenettet har installasjon av fiberkabler, og dermed lengde på føringsveier, stor påvirkning. Det finnes ulike metoder for å legge fiberkabel; om det brukes mikrotrenching eller gravemaskin, i hvilken grad det må reasfalteres, i hvor stor grad masser kan ombrukes, valg av kabelrør og kabel har betydning for utslippene. Tallene for lengde på fiberkabler som er lagt til grunn for analysen er usikre, og videre arbeid burde forsøke å kvantifisere mengde mer presist.

Det er utvilsomt energieffektivt å drive datasenter i Norge, både på grunn av tilgang til fornybar strøm og fordi kårene for å kjøle IT utstyr er gunstige. Dette er derfor et segment i sterk vekst, og både energiforbruket og arealbeslaget ventes å øke betydelig, slik at det må vurderes hvor mye og hva slags datasenter man ønsker i Norge. Gjenvinning av overskuddsvarme var utenfor systemgrensene for denne studien, men er en åpenbar måte maksimere gevinstene av strømmen som brukes i dette segmentet. Det er viktig å presisere at både påvirkningen av fysisk infrastruktur som IT utstyr, kjølesystemer og støttesystemer for strøm er underslått i analysen, fordi kryptodatasenter ikke er modellert eksplisitt foruten strømforbruket.

Strømforbruk er identifisert som en viktig driver for klimafotavtrykket fra digital infrastruktur. Strømforbruksdataene som er samlet inn er grove estimat på sektornivå, og en betydelig svakhet i analysen er estimatene for strømforbruk i fastnett og transmisjons- og kjernenettet. Disse estimatene bør forbedres for å minske usikkerheten i analysen. I videre arbeid er det naturlig å undersøke sammenhenger i strømforbruk, for eksempel ved å kvantifisere konstant sammenlignet med variabelt strømforbruk i nettverk. I tillegg kan strømforbruk i datasenter med fordel raffineres per bruksområde (for eksempel KI trening, fillagring og kryptoutvinning), uten at det er entydig hvordan disse dataene kan samles. I tillegg er det å anbefale for videre arbeid å ta for seg andre ordens effekter av digital infrastruktur, for å kunne se på nettogevinsten av å levere digitale tjenester.

Denne analysen tar kun for seg et øyeblikksbilde av digital infrastruktur i 2024, mens veien videre mot 2030 og 2050 er analysert i den tilhørende rapporten «Scenarioanalyse av fotavtrykket fra norsk digital infrastruktur».

9. Appendiks

9.1. Utvalgte referanser

Referanser oppgis fortrinnsvis som fotnote i teksten. Følgende er et utvalg av gjentakende, sentrale referanser for dette arbeidet.

- "Total Energy Model for Connected Devices." EDNA. Accessed June 19, 2024. https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2019/06/A2b_-_EDNA_TEM_Report_V1.0.pdf.
- Malmodin, Jens, and Dag Lundén. "The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010-2015." *Sustainability* 10, no. 9 (September 2018): 3027. <https://doi.org/10.3390/su10093027>.
- "Methodologies for the Assessment of the Environmental Impact of the Information and Communication Technology Sector." Telecommunication Standardization Sector of ITU, September 2018.
- Rambech, Eric, and Valentin Vandenbussche. "Klimafotavtrykk Fra Utrulling Av Fiber." Endrava, December 28, 2022. https://ikt-norge.no/wp-content/uploads/Endrava-Rapport-Klimafotavtrykk-av-utrulling-av-fiber_rev01.pdf.
- Börjesson Rivera, Miriam, Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt, and Göran Finnveden. "Including Second Order Effects in Environmental Assessments of ICT." *Environmental Modelling & Software* 56 (June 2014): 105-15. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>.
- Malmodin, Jens, Nina Lövehagen, Pernilla Bergmark, and Dag Lundén. "ICT Sector Electricity Consumption and Greenhouse Gas Emissions - 2020 Outcome." *Telecommunications Policy* 48, no. 3 (April 2024): 102701. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102701>.
- Louise, AUBET, RABOT Anne, BITARD Léa, and RIOLO Constant. "Evaluation of the Environmental Footprint of Internet Service Provisioning in France." ADEME, March 2024.
- Perasso, Etienne Lees, Léo Corbet, Pierrick Drapeau, Louis Ollion, Valentine Vigneron, Damien Prunel, Julie Orgelet, and Frédéric Bordage. "Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France." ADEME, 2022.
- "Evaluating the Digital Environmental Footprint in France - Forward-Looking Analysis up to 2030 and 2050." Arcep/ADEME. Accessed April 29, 2024. https://www.arcep.fr/fileadmin/user_upload/grands_dossiers/environnement/ADEME-Arcep_Study_on_the_digital_environmental_footprint_in_France_-_Part_3.pdf.
- Babbitt, Callie W., Hema Madaka, Shahana Althaf, Barbara Kasulaitis, and Erinn G. Ryen. "Disassembly-Based Bill of Materials Data for Consumer Electronic Products." *Scientific Data* 7, no. 1 (July 30, 2020): 251. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0573-9>.
- "Datasenterindustrien i Norge 2023-2024." Norsk Datasenterindustri, 2023. https://static1.squarespace.com/static/6129463e215bea534c574c7f/t/65af8ffba143f806306a5769/1706004478619/Datasenterindustrien+i+Norge+2023-2024_final.pdf.

- "Case Study: The Assessment of Greenhouse Gas Emissions of a Hybrid Satellite Broadband System over Its Life Cycle." ITU, April 2016.
- "Assessment of the Environmental Impact of the ICT Sector: Methodological Gap Analysis." Arcep/ADEME Technical Experts Committee, 2023.
- Pirson, Thibault, and David Bol. "Assessing the Embodied Carbon Footprint of IoT Edge Devices with a Bottom-up Life-Cycle Approach." *Journal of Cleaner Production* 322 (November 2021): 128966. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128966>.
- Peñaherrera Vaca, Fernando Andres. "Analysis of Interactions between Raw Material and Energy Demands for Data Centers." Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2024. <https://d-nb.info/132462843X/34>.

9.2. Vurdering av datakvalitet

Datakvalitet er vurdert kvalitativt ved å beskrive kilden og usikkerhet, og kvantitativt ved å benytte tier-inndeling. Tier-definisjonen fra «Assessment of the environmental impact of the ICT sector: methodological gap analysis» ved Arcep/ADEME er benyttet,⁷² og refererer det til typen datakilder analysen hviler på:

- Tier 1: analyse hvor det benyttes primærdata, mens IKT-spesifikk sekundær data benyttes for kalibrering/validering.
- Tier 2: forenklet analyse basert på en miks av primær data og IKT-spesifikk sekundær data/proxy data.
- Tier 3: overordnet analyse for grove overslag/hotspot-analyse. Basert på sekundær data/proxy data.

Datakvalitetsvurderingen er delt i mengdedata (Tabell 9-1), som beskriver mengder av utstyr, strømforbruk, m.m., som benyttes til å skalere fotavtrykket for et helt teknisk segment, og inventardata (Tabell 9-2), som beskriver hvordan fotavtrykket fra ulike produkter og prosesser er modellert. Datakvalitetsvurderingen dekker kun for LCA delen av analysen.

9.2.1. Mengdedata

Tabell 9-1: Datakvalitetsvurdering av inventardata, som brukes til å skalere fotavtrykket fra produkter til hele segmentet

Segment / datapunkt	Beskrivelse av datakilde og overordnet vurdering av datakvalitet	Tier
Sluttbrukerenheter		
Antall mobiltelefoner, set-top bokser og routere	Nkoms statistikk over abonnenter kombinert med antagelser om antall enheter per abonnent	1

⁷² "Assessment of the Environmental Impact of the ICT Sector: Methodological Gap Analysis." Arcep/ADEME Technical Experts Committee, 2023.

Antall nettbrett, smartklokker, TV & spillkonsoll	Elektronikkbransjen; omfatter kun elektronikk kjøpt til privat bruk	1
Antall PC (bærbar og stasjonær) og skjermer	Tollvesenets importstatistikk	1
Antall IoT enheter	Gjennomsnitt av estimater fra EDNA Total Energy Model, hvor tallene er for Europa, og Statista, hvor tallene er for Norge. Estimatenes er sprikende og antallet regnes derfor som svært usikkert.	3
Transmisjons- og kjernenett		
Lengden på føringsveier	Nkom har estimert lengden føringsveier. Data er kalibrert med tall fra Telenor og Viken fiber. Sluttestimatet er presentert for Telenor som mener estimatet er fornuftig ift. til deres tall. Usikkerhet knyttet til estimatet pga. flere faktorer; blant annet at kart over stamnett er grove, Nkom ikke har oversikt over interne føringer hos større virksomheter, osv. Lengden inkluderer kabler til basestasjoner i mobilnettet som ikke kan skilles ut fra totalen.	1/2
	Andel av kabler i grøft, luft og sjø er estimert basert på informasjon fra én aktør.	2
Energibruk	Estimert ift. energiforbruk i fastnettet basert på andel av energiforbruk i mobil-/fast-/kjernenett fra studier i Finland og Sverige.	3/2
Fastnett – aksessnett		
Lengden på føringsveier	Tilsvarende som for transmisjons-/kjernenettet. Aktører i bransjen påpeker at estimatet virker noe lavt. Andel av kabler i grøft, luft og sjø er estimert basert på informasjon fra én aktør.	1/2
Antall abonnenter	Hentet fra Nkoms statistikk	1
Energiforbruk	Estimert ift. energiforbruk i fastnettet basert på andel av energiforbruk i mobil-/fast-/kjernenett fra studier i Finland og Sverige.	3/2
Mobilnett – aksessnett		
Antall lokasjoner med basestasjoner	Antall basestasjoner er estimert av Nkom basert på database over sendere og kartanalyse. Usikkerhet vurderes som relativt lav, men det er noe usikkerhet knyttet til graden av samlokalisering.	1
Energiforbruk	Estimert basert på to aktører med markedsandel på ca. 70%.	1
Satellitt		
Antall antenne på bakkestasjoner	Fra Nkoms databaser	1

Energiforbruk, bakkestasjoner	Beregnet basert på beskrivelse av typisk bruksmønster og effekt validert av KSAT	2
Antall og vekt av satellitter og drivstoff	Fra Norsk Romsenter, Space Norway og Gunther's Space Page. Regnes som en komplett oversikt, men dekker kun satellitter driftet i Norge eller eid av norske bedrifter, ikke alle komsatellitter som brukes av norske brukere.	1
Datasenter		
Energiforbruk	Data fra Elhub som omfatter alle målepunkter påført næringskode 63.110. Det er noe usikkerhet i påføring av næringskoder. Dataene dekker til og med oktober 2024, og ekstrapolert ut året.	1
Utnyttet kapasitet i MW	Norsk Datasenterindustri årsrapport samt informasjon fra nettsidene til de største datasentrene. Tallet regnes som komplette, mens modellen gjør antagelser om hvor mye ut IT- og kjøleutstyr dette tilsvarer, som har større usikkerhet	1
PUE	Hentet fra datasentrenes nettsider; den operasjonelle PUEen kan antagelig sprike fra det som er oppgitt, som fører til noe usikkerhet.	2
Bygningsmasse	Samlet antall kvadratmeter som oppgitt på datasentrenes nettsider er brukt til å estimere bygningsmassen. Da ikke alle datasenter oppgir dette er det brukt estimer til å ekstrapolere totalen, men tilhørende usikkerhet.	2
Tomteareal	Fra Matrikkel, ved å slå opp adressene til de største datasentrene (se Tabell 9-8 for liste)	1

9.2.2. Inventardata

Tabell 9-2: Datakvalitetsvurdering av inventardata, som beskriver fotavtrykket fra ulike komponenter i systemet

Segment / datapunkt	Beskrivelse av datakilde og overordnet vurdering av datakvalitet	Tier
Sluttbrukerenheter		
Produksjon av datamaskiner, skjermer, nettbrett, smarttelefoner, set-top bokser, routere og TV	Prosesser fra ecoinvent er brukt og skalert med oppdaterte vektorer. Sammensetningen av elektronikken kan være noe utdatert	2
Produksjon av smartklokker, IoT enheter og spillkonsoll	Prosessene er modellert basert på materialnedbrytning fra Babbitt et al. ⁷³	2
Energiforbruk	Gjennomsnittsverdier fra product environmental footprint (PEF) datablader fra elektronikkprodusenter	1

⁷³ Callie W. Babbitt et al., "Disassembly-Based Bill of Materials Data for Consumer Electronic Products," *Scientific Data* 7, no. 1 (July 30, 2020): 251, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0573-9>.

Transmisjons- og kjernenett		
Produksjon og installasjon av kabel	Tilsvarende som for fastnett – aksessnett. EPD for typisk fiberkabel.	1 1
Fastnett – aksessnett		
Hjemmesentral (ONT)	Produksjon er basert på prosess fra ecoinvent og vekt av en typisk modell. Antallet enheter er satt til 1 per abonnent, dette er et grovt estimat.	2/3
	Energiforbruk per enhet årlig er estimat basert på ADEME-studien samt andre kilder.	2
Produksjon og installasjon av kabel	Produksjon av mikrokabler er skalert basert på EPD for en større fiberkabel.	2
	Etablering av grøft er modellert basert på en studie på vegne av IKT-Norge som beskriver standardløsninger i bransjen. Denne er senere kalibrert med veiledere og dialog med medlemmer i Fiberforeningen.	1
	For installasjon i luft og sjø er det gjort forenklete estimat.	3
Fordelingsskap og noderom	Hvilke komponenter som inngår, representative produkter og mengder er oppgitt og kalibrert av aktører i bransjen. Antall skap og noderom per abonnent varierer betydelig, gjennomsnittstall basert på innspill fra aktører i bransjen.	1
Mobilnett – aksessnett		
Produksjon og installasjon av basestasjoner.	En typisk basestasjon etablert på tak eller frittstående er beskrevet. Disse er beskrevet og kalibrert av operatører i bransjen. Det er knyttet størst usikkerhet til produksjonen av antennene og radio units. Disse er estimert basert på data fra litteratur.	2
Infrastruktur (strøm og veg) dedikert til lokasjoner	Grovt estimat.	3
Arealbeslag	Grovt estimat basert på enkelte søknader om etablering av lokasjoner til Statsforvalter.	3
Satellitt		

Materialkomponenter, bakkestasjoner	Grove estimater basert på ITU-kasusstudien og dialog med KSAT ⁷⁴	3
Materialkomponenter, satellitter	Grove estimater basert på ITU-kasusstudien og modifisert med komponenter fra European Space Agency LCA databasen ⁷⁵ (dekker for eksempel GaAS solcellepaneler benyttet i satellitter)	3
Datasenter		
Servere	Modellert basert på inventardata fra Peñaherrera Vaca. ⁷⁶ ; modellen for en typisk server er modifisert for å dekke HPC segmentet basert på antagelser.	2
Eksternlagring (HDD), nettverksutstyr, aggregat og transformator	Eksisterende prosesser fra ecoinvent er benyttet	1
UPS & Batteri	Modellert ut ifra produsenten Eaton sin livsløpsanalyse av en av sine UPSer, «Eaton 93PM» ⁷⁷ . I den graden dette systemet er representativt for de fleste UPS regnes dette som en god modell.	1
Kjølesystem	Modellert ut ifra masteravhandlingen «Life Cycle Assessment of a High-Density Datacenter Cooling System: TeliaSonera's 'Green Room' Concept». ⁷⁸ Arbeidet er noe eldre, og det er mulig kjøleteknologier har endret seg.	2

9.3. Tilleggsinformasjon metode

Denne appendiksen inkluderer detaljer om livsløpsmodellen som et supplement til kapittel 4.

9.3.1. Distribusjon / transport

For transport er det utarbeidet et standard scenario som benyttes for alle sluttbrukerenheter og nettverkskomponenter. IT-utstyr er antatt produsert i Asia, som er en

⁷⁴ "Case Study: The Assessment of Greenhouse Gas Emissions of a Hybrid Satellite Broadband System over Its Life Cycle." ITU, April 2016.

⁷⁵ [ESA LCA Database and Handbook: Framework for Life Cycle Assessment in Space | SDG](#)

⁷⁶ Peñaherrera Vaca, Fernando Andres. "Analysis of Interactions between Raw Material and Energy Demands for Data Centers." Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2024. <https://d-nb.info/132462843X/34>.

⁷⁷ G Ghonge, Sagar, and Kirsi Hakalahti. "Environmental Life Cycle Assessment of 93PM Uninterruptible Power Supplies." Eaton, 2012.

⁷⁸ Oliveira, Felipe B. "Life Cycle Assessment of a High-Density Datacenter Cooling System: TeliaSonera's 'Green Room' Concept." KTH Royal Institute of Technology, 2012.

rimelig, men konservativ antagelse. Standard scenario for transport er oppsummert i Tabell 9-3, inkludert hvilken ecoinvent prosess som er benyttet i modellen.

Avstand for frakt med varebil er satt til 500 km, som er relativt langt, men digital infrastruktur benyttes over hele landet og dette regnes som et rimelig, men konservativ, antagelse.

I Kategoristrategien for IKT hos Direktorat for Økonomiforvaltning anslås det at 50% av IKT-utstyr fraktes med fly⁷⁹, og at dette avhenger av krav til leveringstid. Dette gjelder offentlige anskaffelser. Antagelsen om 30/70 fordeling mellom fly- og skipsfrakt er tatt fra ADEME-studiet, og regnes som mer realistisk for enheter som også inkluderer forbrukerelektronikk.

Tabell 9-3: Standard scenario for transport som er benyttet for sluttbrukerenheter og andre elektroniske komponenter

Type frakt	Avstand	Andel av varer	ecoinvent prosess
Containerskip	25 000 km	70 %	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U
Fly	10 000 km	30 %	Transport, freight, aircraft, long haul {GLO} market for transport, freight, aircraft, long haul Cut-off, U
Lastebil	1000 km	Alle	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Varebil	500 km	Alle	Transport, freight, light commercial vehicle {RER} market group for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U

9.3.2. Arealbruksendringer

Arealbruksendringer er kun inkludert for basestasjoner i LCA modellen. Mange datasenter er i dag bygd på grå areal, slik som tidligere næringsareal eller gruver. Det er derfor ikke gitt at etableringen av et datasenter fører til arealbruksendringer, og dette er utelatt fra LCA modellen, mens beslaglagt areal for datasenter er kartlagt separat.

Miljødirektoratets kalkulator for arealbruksendringer er benyttet⁸⁰. I denne beregnes opptak og utslipp over en 20 års periode i tråd med metodikk fra det internasjonale klimapanelet (IPCC). Inndata i kalkulatoren er arealkategori før transformasjon (skog – høy

⁷⁹ <https://anskaffelser.no/statens-innkjopssenter/kategoristrategier/kategoristrategi-ikt-anskaffelser-av-baerekraftige-og-sirkulaere-losninger-og-produkter>

⁸⁰ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/beregne-effekt-av-ulike-klimatiltak/>

bonitet, skog – middels bonitet, myr etc.) og areal. Det er ikke gjort en analyse av hvilken arealtype som var før nedbygging.

For å få et estimat for bidraget fra arealbruksendringer er det forutsatt snittet av skog med høy bonitet. Det gir et utslipp på 50 kg CO₂e per kvadratmeter (biogene utslipp) over 20 år.

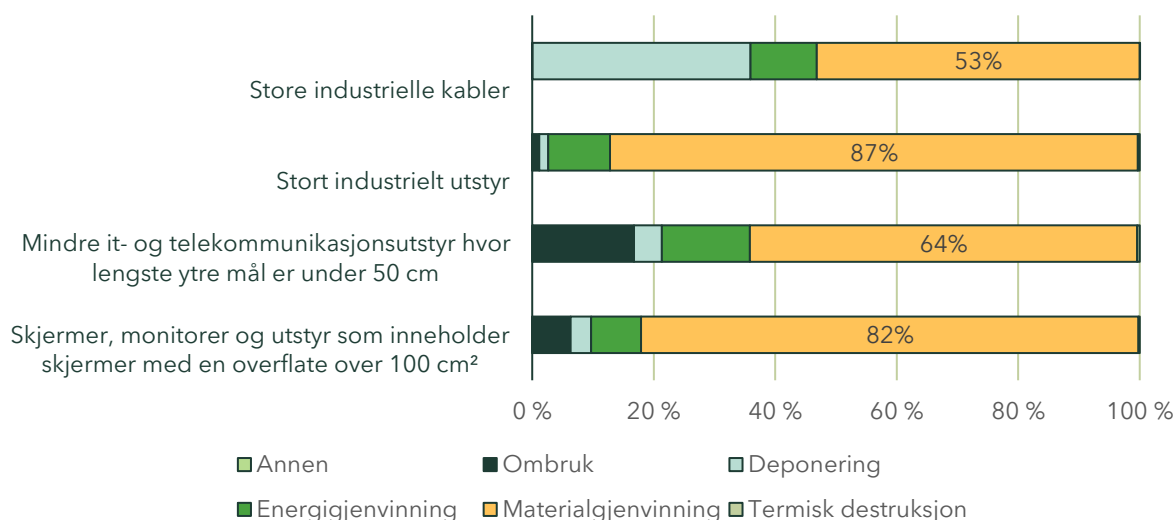
9.3.3. Avhending

Tabell 9-4 viser elektronisk avfall meldt inn av returselskapene til Miljødirektoratet for 2023 (siste år med fullstendig data). Det ble i 2023 samlet inn 143 000 tonn EE-avfall, fordeles dette på antall innbyggere utgjør dette 26 kg per person. Som vist utgjør EE-avfall fra industri ca. 25 % av innsamlet avfall.

Tabell 9-4 EE-avfall etter kategori innsamlet av returselskaper i Norge i 2023. Kilde: [Produsentansvar - EE-produkter, batterier og kjøretøy](#). Kategoriene som helt eller delvis inngår i denne studien er markert i grønt.

Kategori	Andel	kg per innbygger	Tusen tonn totalt
Varme- og kuldeutstyr	15 %	4,0	22
Skjermer, monitører og utstyr som inneholder skjermer med en overflate over 100 cm ²	4 %	0,9	5
Lyskilder	1 %	0,2	1
Andre store produkter hvor en av de ytre mål er over 50 cm - unntatt solcellepanel	27 %	7,1	39
Andre små produkter hvor lengste ytre mål er under 50 cm	24 %	6,4	35
Mindre it- og telekommunikasjonsutstyr hvor lengste ytre mål er under 50 cm	5 %	1,4	8
Stort industrielt utstyr	10 %	2,5	14
Store industrielle kabler	14 %	3,5	19
Sum EE-avfall	100 %	26,1	143

Figur 9-1 viser fordelingen av avfallsbehandlingsmetode for kategoriene med EE-avfall som er mest relevant i dette studiet.



Figur 9-1: Fordelingen av behandling av EE-avfall etter metode. Kilde: Produsentansvar - EE-produkter, batterier og kjøretøy.

9.3.3.1 Sluttbrukerenheter

Statistikken til Miljødirektoratet som baserer seg på tall rapportert av returselskap gir ingen informasjon om andelen elektronikk som *ikke* leveres til avfallsbehandling.

Det er kjent at det finnes mye «dormant stock» innenfor elektronikk, altså enheter som ikke lenger er i bruk, men som heller ikke er levert. Ifølge statistikk fra SSB blir 70% av mobiler, smarttelefoner, bærbare datamaskiner og nettbrett fortsatt oppbevart i husholdningen 3 måneder etter at det ikke har vært i bruk⁸¹.

Videre er det kjent at en andel av elektronikken ikke havner hos returselskaper, men leveres feil av forbruker og i mange tilfeller går direkte til forbrenning. Mattson et al. (2023)⁸² estimerer dette til 7 500 tonn årlig. En del EE-avfall blir også stjålet fra returpunktene og ulovlig eksportert⁸³. Norsus (2021)⁸⁴ estimerer at dette gjelder ca. 10 % av elektronikk satt på markedet, dvs. ca. 10 000 tonn årlig (Mattson et al., 2023). Ifølge Norsirk, produsentansvarsselskap for elektriske og elektroniske produkter, batterier og emballasje, er flatskjermer, støvsugere, kabler og bærbare PC-er vanligst å stjele⁸⁵.

⁸¹ 13742: Håndtering av IKT-utstyr når det ikke lenger er i bruk de siste 3 måneder (prosent), etter kjønn, IKT utstyr, statistikkvariabel og år. Statistikkbanken (ssb.no)

⁸² (PDF) [Electronic Waste Treatment Flows in Norway: Investigating recycling rates and embodied emissions](#)

⁸³ <https://norsirk.no/wp-content/uploads/2022/06/Norsirk-EE-avfall-pa-avveie-rapport-2022.pdf>

⁸⁴ Norwegian Institute for Sustainability Research (NORSUS), 2021, Collection of Electronic Waste. Authors: Baxter, J., Prestrud, K., Egebæk, K. & Mckinnin, D. Commissioned by Norsk Industr

⁸⁵ <https://norsirk.no/wp-content/uploads/2022/06/Norsirk-EE-avfall-pa-avveie-rapport-2022.pdf>

Det er også kjent at en del elektronikk eksporteres lovlig. Dette er ikke eksplisitt modellert. Vi benytter gjennomsnittlig levetid og antar at dette utstyret til slutt behandles tilsvarende som komponenter som avfallsbehandles i Norge.

I vår modell fordeles påvirkningen knyttet til avhending over den antatte levetiden til sluttbrukerenheten. I praksis betyr det si at fotavtrykkstallene for avhending ikke vil sammenfalle med avfallsstatistikk for analyseåret.

Ombruk av mindre elektronikk (6 % av skjermer og 17 % av mindre elektronikk) vil forlenge levetiden til produktene, men produktene vil til syvende og sist avhendes. I vår modell ivaretas ombruk dermed med gjennomsnittlig levetid på produktene, som øker i det mer av utstyret går til ombruk.

For avfall som havner på avveie antar vi at dette (til slutt) går til deponi eller forbrenning. Det antas at halvparten går til (regulerte) deponi og halvparten til forbrenning. I praksis kan en del av avfallet blir eksportert ulovlig ut av landet og kan havne på uregulerte deponi i andre land f.eks.

Basert på antakelsene for ombruk av elektronikk og avfall på avveie justerer vi andelene for avfallsbehandling for sluttbrukerenheter i Figur 9-1. Det blir dermed en noe mindre andel til materialgjenvinning og høyere andel for deponi og energigjenvinning.

- Deponering: 15 %
- Energigjenvinning: 16 %
- Materialgjenvinning: 69 %

Det er ikke tatt hensyn til tap i resirkuleringsprosessen. Mattson et al. (2023) inkluderer det i sin modell, avhengig av material. Med tap i resirkuleringsprosessen anslår de at materialgjenvinningen fra EE-avfall i Norge er ca. 60 %.

9.3.3.2 Nettverk, datasenter og satellitt

For industrielt utstyr er andelene som går til ulike ruter for avhending fastsatt avhengig av om det er metaller, elektronikk eller plast. For batteri og kabler er det benyttet generiske datasett fraecoinvent.

Tabell 9-5 Material og antatt andel til ulike avhending. Elektronikk er forutsatt basert på andeler for ulike avhending fra Figur 9-1, mens for metall er andelene satt basert på SSBs avfallsstatistikken⁸⁶ (noe nedjustert for å ta høyde for svinn).

	Deponering	Energigjenvinning	Materialgjenvinning
Metall	10 %	0 %	90 %
Plast	0 %	100%	0 %

⁸⁶<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfallsregnskapet>

Elektronikk	2 %	10 %	88 %
-------------	-----	------	------

For satellitter er det ikke antatt noen avfallshåndtering i livsløpsmodellen, da de per i dag ender som avfall i rommet eller faller ned og som oftest brenne opp på vei gjennom atmosfæren.

9.3.3.3 Utslipp fra avfallshåndtering og resirkulering

Følgende datasett fra ecoinvent er benyttet for å beregne utslipp fra ulike typer avhending:

- Avhending, batteri: Used Li-ion battery {GLO}| treatment of used Li-ion battery, hydrometallurgical treatment | Cut-off, U
- Avhending, kabel: Used cable {GLO}| treatment of used cable | Cut-off, U
- Resirkulering, elektronikk: Waste electric and electronic equipment {GLO}| treatment of waste electric and electronic equipment, shredding | Cut-off, U
- Energigjenvinning, elektronikk: Waste plastic, consumer electronics {CH}| treatment of waste plastic, consumer electronics, municipal incineration with fly ash extraction | Cut-off, U
- Resirkulering, metaller: Scrap steel {Europe without Switzerland}| treatment of scrap steel, inert material landfill | Cut-off, U
- Energigjenvinning, plast: Waste plastic, industrial electronics {CH}| treatment of waste plastic, industrial electronics, municipal incineration | Cut-off, U
- Deponering: Inert waste {Europe without Switzerland}| treatment of inert waste, sanitary landfill | Cut-off, U

9.4. Data – Sluttbrukerenheter

Dette kapittelet beskriver datakildene som er benyttet for å komme fram til nøkkeltallene i Tabell 5-1 i større detalj.

9.4.1. Modellering av komponenter

Følgende sluttbrukerenheter er modellert med prosesser fra ecoinvent: TV, smarttelefon, PC skjerm, nettbrett, bærbar PC og stasjonær PC. Sluttbrukerenheter som ikke finnes i ecoinvent, er bygd i SimaPro basert på materialliste (Bill of Materials,) fra Babbitt et al.⁸⁷ Dette omfatter smartklokker, IoT enheter, og spillekonsol.

⁸⁷ Babbitt, Callie W. et al. "Disassembly-Based Bill of Materials Data for Consumer Electronic Products." *Scientific Data* 7, no. 1 (July 30, 2020): 251. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0573-9>.

Årlig strømforbruk per sluttbrukerenhet er basert på tall oppgitt av produsenter i deres «product environmental footprint» (PEF) rapporter, med unntak av nettbrett hvor årlig strømforbruk ikke var oppgitt og verdien fra ADEME-arbeidet⁸⁸ var derfor benyttet. For routere og set-top bokser er verdier mål og lagt fra i Arcep årsstatistikk benyttet.⁸⁹

9.4.2. Salgsstatistikk fra Elektronikkbransjen

Salgsstatistikk for et utvalg av forbrukerelektronikk er tilgjengelig fra Elektronikkbransjen,⁹⁰ som vist i Figur 9-2. Denne statistikken omfatter kun enheter som er solgt i konsumermarkedet, slik at enheter kjøpt av bedrifter ikke er medregnet, som er en svakhet med denne statistikken. Kun den dele av statistikken som rapporterer antall enheter solgt er benyttet, da usikkerheten i å regne om omsetningstall til antall enheter for aggregerte kategorier er høyt.

Salgsstatistikken fra Elektronikkbransjen er kun benyttet for kategorier som ikke er dekt av Tollvesenet eller abonnementsstatistikk, som gjelder nettbrett, smartklokker, spillekonsol og TV. Antall enheter i bruk er beregnet fra salgsstatistikken ved å summere over forventet levetid. For alle enheter unntatt mobiltelefoner er levetid tatt fra ADEME-arbeidet.

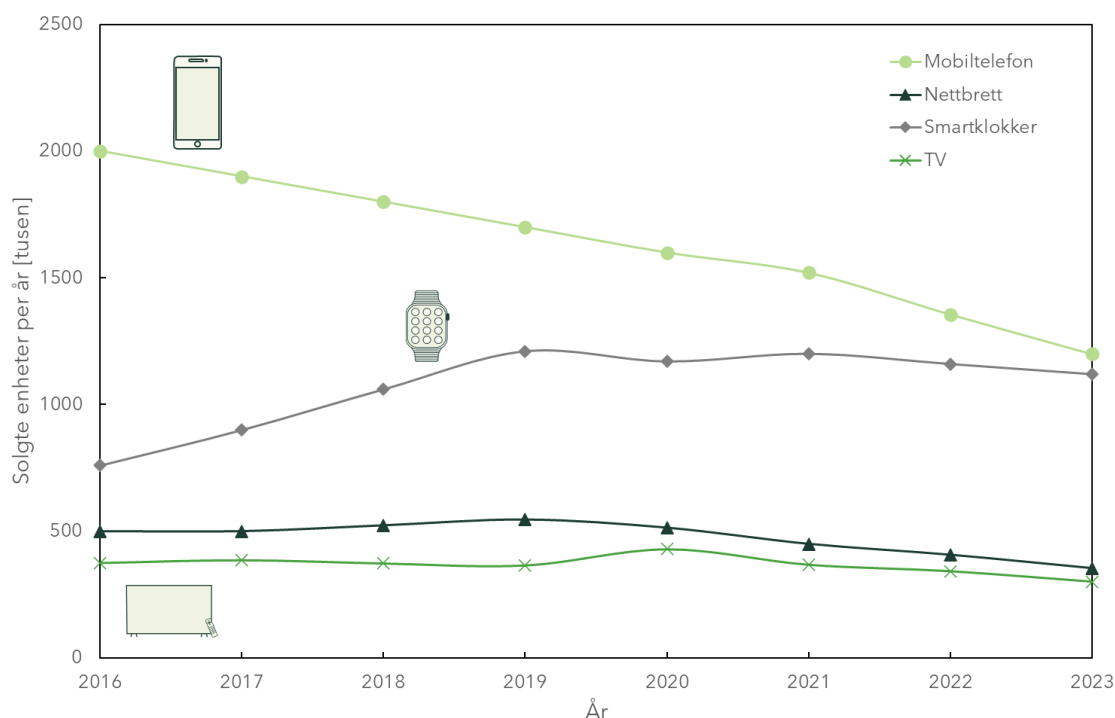
Ifølge Elektronikkbransjens tall for 2023 hadde levetiden til mobiltelefoner i Norge økt til 38,5 måneder, opp fra 32,5 måneder i 2020. Vi har derfor antatt en gjennomsnittlig levetid på 3,2 år for en mobiltelefon i 2024. Den økte levetiden er også reflektert i salgsstatistikken, som viser en markant nedgang i antall kjøpte enheter siden 2016.

⁸⁸ Etienne Lees Perasso et al., "Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France" (ADEME, 2022).

⁸⁹ [Enquête annuelle "Pour un numérique soutenable" - édition 2024 \(données 2022\) | Arcep](#)

⁹⁰ [Bransjetall og statistikk \(elektronikkbransjen.no\)](#)

Salg av forbrukerelektronikk i Norge



Figur 9-2: Salg av forbrukerelektronikk i Norge, fra Elektronikkbransjen.no

9.4.3. Importstatistikk fra Tollvesenet

Statistikk for antall datamaskin og skjermer i bruk er beregnet med utgangspunkt i importstatistikk fra Tollvesenet. Denne statistikken er mer komplett enn statistikken fra Elektronikkbransjen siden det omfatter alle varer importert til Norge, både til privatbruk og bruk i bedrifter. Det antas at privat import av elektronikk som ikke registreres av Tollvesenet er neglisjerbart. Tollvesenet oppdaget selv en del støy i importstatistikken som førte til at ca. 1 % av datapunktene ble fjernet. Det har ikke vært datagrunnlag for å ekstrapolere og kompensere for hullene, slik at antallet som er benyttet er et underestimat.

Importstatistikken fra Tollvesenet inneholder også antall TV og mobiltelefoner, men ettersom statistikken fra henholdsvis Elektronikkbransjen og abonnementsstatistikken til Nkom ga høyere antall enheter i bruk ble disse benyttet istedenfor.

9.4.4. Abonnentsstatistikk fra Nkom

Antallet routere i bruk er anslått basert på antallet internettabonnenter, som er det 2,51 millioner i 2024 ifølge Nkom. Det er antatt 1,5 routere per husholdning eller bedrift. Det foreligger ikke data om antall WiFi-routere per abonnenter, slik at dette representerer en vesentlig usikkerhet som er tatt høyde for i følsomhetsanalysen.

Antall set-top bokser er anslått basert på antall TV abonnenter, som var 2,04 millioner i 2024 ifølge Nkom. Det er antatt 1 set-top boks per husholdning per abonnent. Det

foreligger ikke data om antall set-top bokser per abonnenter, slik at dette representerer en vesentlig usikkerhet som er tatt høyde for i følsomhetsanalysen.

Ifølge Nkom var det 6,074 millioner aktive mobilabonnement i 2024.⁹¹ Selv om noen har flere abonnement per telefon, er det allikevel rimelig at antall abonnement tilsvarer antall telefoner i bruk i Norge. Denne verdien er derfor benyttet i modellen.

9.4.5. IoT

«Internet of Things» (IoT) er en fellesbetegnelse for enheter som samler data og kommuniserer til hverandre over nettverket. Det er kjent at dette er et voksende segment, men omfanget er noe utydelig definert, og data om antall enheter er som regel på globalt nivå (se for eksempel Cisco⁹²). Mange enheter kan ha smartkomponenter, men energiforbruk og produksjonsfotavtrykket i denne LCA modellen omfatter kun smart komponenten, ikke resten av enheten. For eksempel vil fotavtrykket fra smarte hvitevarer som kjøleskap kun inkludert sensorikken og nettverkskomponenten, ikke hele kjøleskapet.

EDNA Total Energy Model ble lansert i 2020 av IEA for å kvantifisere energiforbruket til tilkoblede enheter. De oppgir antall enheter for ulike kategorier med utstyr og ulike verdensdeler, basert på markedsstatistikk fra Juniper Research⁹³. For å anslå antall IoT enheter i bruk i Norge i 2024, er statistikk for enheter som er kategorisert under automasjon eller sikkerhet summert for vest Europa, og skalert til Norge basert på forholds tallene med befolkningene, som resulterer i et estimat på 95 millioner IoT-enheter i Norge i 2024.

Rapporten «Market study on the Norwegian data economy» av Wik Consult (upublisert) gjengir data fra Statista som anslår at totalt antall IoT-koblinger i Norge i 2024 er 30.8 millioner, som er ca. 1/3 av den ekstrapolerte verdien fra EDNA dataene. Antall IoT enheter regnes derfor som svært usikkert, og vi benytter gjennomsnittet av verdiene fra EDNA og Wik Consult, det vil si 62.9 millioner enheter, som estimat.

For å modellere en generell IoT-enhet, ble det laget en LCA modell for en smart termostat basert på materialliste (Bill of Materials,) fra Babbitt et al.⁹⁴ Klimagassutslippet til denne ble sammenlignet med gjennomsnittlig klimautslippet til en IoT-enhet i resultatene fra ADEME-arbeidet, og forholdstall ble brukt til å skalere modellen for smart termostat til en generisk IoT-enhet. Denne tilnærmingen viste at påvirkningen til en gjennomsnittlig IoT-

⁹¹ Dette ekskluderer 4,3 millioner maskin-til-maskin / M2M SIM-kort som benyttes til biler, IoT, osv.

⁹² "Cisco Annual Internet Report (2018-2023)." Cisco, 2020.
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>.

⁹³ [Total Energy Model - 4E Energy Efficient End-use Equipment](#)

⁹⁴ Babbitt, Callie W. et al. "Disassembly-Based Bill of Materials Data for Consumer Electronic Products." *Scientific Data* 7, no. 1 (July 30, 2020): 251. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0573-9>.

enhet var ca 1/6 av en smart termostat, som viser at en høy andel av IoT-enheter er enkle sensorer.

Gjennomsnittlig energiforbruk og levetid per IoT-enhet ble hentet fra ADEME-studiet.

En svakhet ved metoden brukt er at det antas at alle IoT-enheter har samme sammensetning og kompleksitet, mens i realiteten kan de ha en rekke ulike hardware-profiler. For nærmere analyse av effekten av ulike hardware-profiler for klimafotavtrykket fra IoT-enheter anbefales Pirson et al.⁹⁵ En mer omfattende analyse av IoT-enheter vil kreve

9.4.6. Emballasje

Emballasje til sluttebrukerenheter er modellert som en blanding av papp og plast. Emballasjevekt er anslått basert på oppgitte vektorer i Google sin Product Environmental Report for Google Home⁹⁶ og Google Pixelbook,⁹⁷ som er de eneste funnet som oppgir emballasjevekt. Emballasjevektene er skalert med gjennomsnittlig vekt for hver produkttype; avhending for emballasjen er ikke inkludert.

9.5. Data – Nettverk

Dette kapittelet forklarer nærmere hvordan data om nettverk er innhentet, og hvordan LCA-modellen for nettverk er bygd.

9.5.1. Mobilnett

4G er fortsatt den dominerende bæreren av mobiltrafikk og trafikkvolumet estimeres til 63 % av total internettrafikk i mobilnettet. 5G øker i stort omfang, og sto i 2023 for 37 % av trafikken. I følge Nkoms database over sendere er 15 % av sendere 2G, 63 % av sendere 4G og 22 % av sendere er 5G. Fra Nkoms database over sendere er det tatt hensyn til 17 414 unike lokasjoner for basestasjoner i Norge, med et gjennomsnitt på 12 antenner per basestasjon

Modellen for mobil aksessnettet består av følgende hovedkomponenter:

- Fibernett dedikert til lokasjoner (allerede inkludert i transmisjons- og kjernenett⁹⁸)
- Strømkabler dedikert til basestasjoner
- Veg dedikert til basestasjoner

⁹⁵ Pirson, Thibault, and David Bol. "Assessing the Embodied Carbon Footprint of IoT Edge Devices with a Bottom-up Life-Cycle Approach." *Journal of Cleaner Production* 322 (November 2021): 128966. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128966>.

⁹⁶ [Google Home Product Environmental Report - Google Sustainability](#)

⁹⁷ [Google Pixelbook Product Environmental Report - Google Sustainability](#)

⁹⁸ Det er ikke mulig å skille ut hvor mange km som er dedikert til basestasjoner fra totalen

- Basestasjoner – takmontert
- Basestasjoner – frittstående

I praksis vil det på stasjoner som kun har 2G og 4G benyttes passive antenner med RRH/RRU separat. Det vil være 1 RRH/RRU per antenne. I modellen har det ikke vært mulig å skille på aktive antenner med integrert RRH/RRU og passive antenner med ekstern RRH/RRU. Det er i modellen dermed modellert 12 aktive antenner per lokasjon.

9.5.1.1 Batterier og likeretter



Kravet per i dag er at basestasjonen skal ha reservekraft for minimum 2-4 timer ved utfall av strøm. Blybatterier brukes hovedsakelig i dag til å dekke dette. Basert på informasjon fra operatørene er to batteristrenger à ca. 150 Ah vanlig. Ved et gjennomsnittlig effektuttak er 2,2 kW og en spenning på 48 V gir dette behov for ca. 185 Ah. Iecoinvent er datasett / utslippsfaktor for batteri oppgitt per kg, og det antas 0,3 kg batteri per Ah.

9.5.1.2 Baseband unit (BBU)

En BBU er hjernen i basestasjonen og tolker data på ulike frekvenser i telekomsystemer. I dag er det typisk Ericsson eller Nokia som leverer baseband units. Tilsvarende BBU benyttes både for 4G og 5G, men forskjellen vil være at en installerer et kort i tillegg hvis det er en 5G stasjon. Nokia har publisert en klimafotavtryksanalyse for sin AirScale BTS modul som er benyttet inn i modellen. Klimafotavtrykket er ca. 4 tonn CO₂e per enhet for standardmodulen.

9.5.1.3 Remote radio head/unit (RRH/RRU)

En RRH er enheten som genererer signaler som sendes over mobilnettet via antenner. For 2G og 4G teknologier er dette en separat enhet. Det finnes begrenset med informasjon om materialsammensetning for radio units, og det er ikke funnet miljødeklarasjoner eller tilsvarende fra produsenter. Enheten er modellert opp basert på data fra NGMN Alliance (2021)⁹⁹ som vist av tabellen nedenfor. Klimafotavtrykket er estimert til ca. 320 kg CO₂e per RRH/RRU.

⁹⁹ https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/210719-NGMN_Green-future-Networks_Eco-design-v1.0.pdf

Tabell 9-6 Inventardata for RRH/RRU.

Material	Mengde
Aluminium	16 kg
Stål	7 kg
Elektronikk (integrated circuits / IC)	0,01 kg
Kretskort (printed wiring board / PWB)	0,2 m ²

9.5.1.4 Antenner

Det finnes begrenset med informasjon om materialsammensetning for antenner, og det er ikke funnet miljødeklarasjoner eller tilsvarende fra produsenter. Det skilles mellom passive og aktive antenner, hvor forskjellen ligger i at aktive antenner har en RRH integrert i antenne, mens denne er ekstern for passive antenner.

Antennene er modellert basert på materialinventar oppgitt i Ding et al. (2022)¹⁰⁰. Dette gir totalt en vekt på 240 kg.

En typisk aktiv antenne veier 20-40 kg, mens en typisk passiv antenne kan veie rundt 15 kg¹⁰¹. Inventaret fra Ding et al. (2022) er skalert med disse vektene. Klimafotavtrykket er estimert til ca. 320 kg CO₂e per aktiv antenne og 120 per passiv antenne.

9.5.1.5 Mast/tårn

Det er tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig mast. Denne er modellert basert på Ding et al. (2022), består av stål og veier 11 tonn. I tillegg er det tatt med 14 m³ betong per mast for fundamentering. Basestasjoner på bygg har også installasjon for å montere antenne, men dette regnes som neglisjerbart slik at mast kun modelleres for frittstående basestasjoner.

9.5.1.6 Utendørsskap og hytte

Et utendørsskap er inkludert basert på data fra Ericsson¹⁰². En frittstående hytte er modellert forenklet basert på 10 m² av en generisk prosess fra ecoinvent: *Building, hall, steel construction {GLO}| market for building, hall, steel construction | Cut-off, U*.

¹⁰⁰ [Carbon emissions and mitigation potentials of 5G base station in China - ScienceDirect](#)

¹⁰¹ <https://ffi-publikasjoner.archive.knowledgegearc.net/bitstream/handle/20.500.12242/3217/23-01500.pdf>

¹⁰² <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1540115/FULLTEXT01.pdf>

9.5.1.7 Kabler

Fiberoptiske kabler fra hytte til mast er inkludert i total mengde fiberoptisk kabel modellert for fastnett. For basestasjon på bygg er det lagt til 25 meter fiberoptisk kabel i tillegg, som strekker fra installasjonen på taket til det kobles på nettverket til resten av bygget. Coax-kabel fra RRH/RRU til antenne er modellert som kobberkabelen.

9.5.1.8 Vei, strømkabler, installasjon og vedlikehold

- Vei: Etter dialog med tårnselskapene er lokasjoner modellert uten tilsluttet vei
- Strømkabler: 200 meter. Denne kabelen er modellert basert på en generisk prosess for strømkabler i ecoinvent (omfatter både kabel, installasjon, arealbidrag, vedlikehold osv.).
- Installasjon og vedlikehold av basestasjoner er ekskludert fra modellen på grunn av manglende data. Det er gjort et grovt estimat for de potensielle utslippene fra helikoptertransport. Følgende forutsetninger er lagt til grunn:
 - o 8 timer helikoptertransport ved installasjon.
 - o 8 timer helikoptertransport for vedlikehold hvert år.
 - o Det er 17 414 lokasjoner og 46 % av disse er frittstående.
 - o Som et konservativt estimat antas det helikoptertransport til alle frittstående lokasjoner.
- Basert på dette estimeres det et utslipp på 142 ktonn CO₂eq over 20 år og 7 ktonn CO₂eq per år. Dette utgjør 4 % av klimafotavtrykket fra mobilnettet.

9.5.2. Fastnett

I norsk fastnett har fiberoptisk teknologi erstattet kobberledninger; kobbernettverket er ikke fysisk fjernet, men står for en neglisjerbar del av nåværende drift. Modellen tar derfor kun for seg fibernett. Fibernett bygget ut enten punkt-til-punkt eller ved såkalt Passive Optical Network (PON). Ved punkt-til-punkt utbygging vil hver kunde ha sin egen kabel, mens ved PON kan man ha flere kunder per kabel. Typisk kan en ha kabler med 8 til 128 kunder per kabel, hvor 8 til 64 kunder er vanlig praksis per i dag. Det varierer mellom ulike aktører i hvor stor grad de har tatt i bruk PON fremfor punkt-til-punkt utbygging. Ved PON utbygging vil en redusere kabellengde og antall noderom per abonnent.

9.5.2.1 Hjemmesentral

Hos sluttbruker er det plassert en hjemmesentral / fiberboks ofte omtalt som ONT (Optical Network Terminal). Denne knytter fiberlinjen sammen med WiFi-nettet hos sluttbrukeren. Hjemmesentralen er skalert basert på vekt og en prosess fra Ecoinvent «Router, internet {GLO} market for router, internet | Cut-off, U». Det antas en levetid på 5 år.

9.5.2.2 Fiberoptisk kabel

Det er flere ulike teknikker og maskiner som benyttes for legging av kabel. Hvilke teknikker som brukes avhenger av lokale forhold og krav. Kort oppsummert kan kabler installeres i grøfter, i luft eller i sjø.

Bruk av gravemaskin er konvensjonell metode i dag. Grøftene graves typisk enten i veibanen eller langs. Typisk benyttes en 30 cm skuff, slik at grøften er 30 cm bred. Dybden er typisk 40 til 100 cm avhengig av hvor det grøftes. I enkelte tilfeller reasfalteres det 1 meter (litt bredere enn bredden på grøft for å sikre bæring), mens det i andre tilfeller kan halve veibanen reasfalteres (ca. 3 meter). Det antas at 50 % av grøfter krever reasfaltering.

I tettbygde og relativt tettbygde strøk er kabel i grøft vanlig, mens i spredtbygde strøk er kabler i luft vanligere. Sjøkabler vil selvsagt være relevant flere steder i Norge langs kysten. Det er anslått en fordeling på 75 % kabler i grøft, 20 % i luft og 5 % i sjø¹⁰³.

Det legges flere rør for kabler i den samme grøften. Det vil være store variasjoner avhengig av hvor i nettet en er. Som et grovt, konservativt estimat for gjennomsnitt i hele aksessnettet anslås 4 kabler per grøft. Det vil dermed si at en antar at det lages 0,25 meter grøft per meter kabel.

I enkelte tilfeller legges kablene sammen med annen infrastruktur som strøm, vann og avløp. Dette vil være mest aktuelt ved utbygging av nye områder. Det anslås av aktører i bransjen at dette maksimalt utgjør 5-10 % av årlig lengde installasjon av nett. I modellen gjør vi en konservativ antakelse og anslår at antall meter med felles føringsveier er neglisjerbart.

Etter at grøften er etablert legges det et plastrør hvor kablene blåses inn ved hjelp av luft. Kompressorene som gjør dette, kan både være elektriske (for mindre kabler) og dieseldrevne (større kabler). Rør er normalt produsert av høydensitetspolyetylen, HDPE, med en diameter som avhenger av kabeltykkelse. På toppen av plastrøret hvor kabelen er installert legges kabelsand og omfyllingmasser. I enkelte tilfeller er dette stedlige masser, mens i enkelte tilfeller må alt kjøres bort/tiltransporteres. I snitt anslås det at 70 % er stedlige masser, mens 30 % må tiltransporteres. For modellen antar vi en fordeling på 50/50, som et konservativt estimat.

Kabler finnes i mange ulike varianter, overordnet har en tre typer: kobber, COAX og fiberoptiske kabler. I dag legges kun fiberoptiske kabler (singel-modus). Kablene som brukes avhenger av om de legges direkte i bakken, i rør, eller installeres i luft eller sjø. Det antas at alle kabler som legges i grøft legges i rør. Fiberkabelen er modellert basert på en

¹⁰³ Det er benyttet tall fra Viken fiber for å anslå fordelingen av kabler i grøft (85%), i luft (12%) og sjø (3%).

Deretter er disse justert noe ned for å ta høyde for at Viken fiber bygger i tettbygde strøk sammenlignet med gjennomsnittlig utbygging i Norge.

EPD for en typisk 96-core kabel¹⁰⁴. Denne er representativ for kablene som benyttes i transmisjons- og kjernenettet¹⁰⁵. I aksessnettet brukes mest mikrokabler som har mindre diameter og er lettere¹⁰⁶. Modellen nevnt over er dermed skalert basert på vekt for å få utslipp fra en mikrokabel.

9.5.2.3 Fordelingsskap

Fordelingsskap er plassert mellom kunde og node, de er typisk plassert i veikanten. Skapene inneholder kun passive komponenter (ingen elektronikk). Skapene er i stål eller aluminium. Typisk antall kunder per fordelingsskap er 20 på grunn av den fysiske begrensningen i hvor mange rør som får plass. Skapene varierer i størrelse, som et gjennomsnitt antas 1 meter høye, 0,5 meter bredde, 0,2 meter dybde¹⁰⁷. I modellen er det antatt at skapene stål eller aluminium og anslått gjennomsnittlig vekt er hhv. anslått til ca. 30 og 10 kg. Det antas stål som hovedscenario. Levetid er anslått til 20 år.

9.5.2.4 Noderom

En node plasseres enten i et eksisterende bygg, i egne bygg (nodebu) eller i klimaskap. Et typisk noderom i eget bygg er ca. 10 m² og forsyner rundt 1000 kunder, men varierer i størrelse fra 300 kunder (3-4m²) til 3000 kunder (25m²). Et noderom inneholder aksessroutere som fordeler kapasiteten ut til kundene (tilsvarende en transformatorstasjon i strømmettet). Etter dialog med nettverksoperatørene er en vanlig type aksessrouter levert av Huawei er brukt som grunnlag for modellen.¹⁰⁸

Typisk vil det være 3-4 aksessroutere i et noderom som betjener 1000 kunder. I tillegg inneholder noderommet en rack som terminerer kablene. Videre har en likerettere og batterier, hvor batteriene må kunne dekke en strømstans i opptil 6 timer (totalt 280 Ah fordelt på to strenger)¹⁰⁹. Det forutsettes en levetid på 8 år for batterier og routere, og 20 år for annet materiell.

9.5.3. Satellitt

Satellitter kan ha forskjellige innhold avhengig av formål. I denne studien er det utviklet en forenklet modell for bestanddelene av satellitten, da ITU case studien viste at oppskytingen var langt viktigere enn produksjonen av selve satellitten. Det er antatt at

¹⁰⁴ <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/3fd1b7a0-9384-4fb1-afcf-70a2bea38530/Data>

¹⁰⁵ https://no-catalogue.prysmian.com/s/#/family/QXXE-UTEND%C3%98RS_KANALKABEL,_L%C3%98S_KLEDNING

¹⁰⁶ https://no-catalogue.prysmian.com/s/#/family/MICRO_QXXE_2-96F

¹⁰⁷ <https://www.sonepar.no/catalog/nb-no/products/melbye-gateskap-galvanisert-stal-gronnt-6923345>

¹⁰⁸ <https://www.xponshop.com/products/huawei-ma5800-x7-olt>

¹⁰⁹ I ecoinvent er datasett / utslippsfaktor for batteri oppgitt per kg, og det antas 0,3 kg batteri per Ah.

hver satellitt består av elektronikk inkludert lagring, innfatning i aluminium-litium legering, litium-ion batteri, og en GaAs solcelle. Prosesser for materialkomponentene er tatt fra ESA LCA databasen når de skiller seg fra vanlige materialer. Det er ikke modellert motor/booster spesifikk på satellittene.

Oppskytning er modellert basert på data fra ITU-kasusstudien, hvor at for oppskytningen av en rakett som kan inneholde 10 tonn med satellitter, kreves henholdsvis 133 tonn hydrogen og 26 tonn oksygen til hovedmotoren, samt 475 tonn fast drivstoff bestående av en blanding ammoniumperklorat, aluminium og butadien. Når det faste drivstoffet forbrennes, slipper den ut 217 tonn CO₂ til lufta. Utslippene forbundet med oppskytning er fordelt per kilo satellitt som skytes opp (eksempelvis vil Thor 5, som veide 2000 kg ved oppskytning, kreve 1/5 av en oppskytning på 10 000 kg). Dette er en forenkling, ettersom drivstofforbruket vil variere med hvilken bane satellitten skal i. ITU-kasusstudien baserer seg på data fra Ariane 5 gjennomførte oppskytninger til geostasjonær bane, som vil være representativt for mange at de større satellittene.

Selve raketten er modellert i en blanding av aluminium og stål, etter vekter fra ITU-studien. Ressursene som kreves for å utvikle raketten samt infrastruktur for oppskytning er ikke inkludert.

9.5.3.1 Bakkestasjoner

European Space Agency (ESA) har gjennomført en studie for å kartlegge fotavtrykket fra ulike typer bakkestasjoner,¹¹⁰ men de fullstendige resultatene er ikke offentliggjort. Inndelende resultater tyder på at bakkestasjonen har større fotavtrykk enn MOCen, men at datasentrene er allikevel vesentlig.

Det er antatt standard transport scenario for nettverkskomponenter; det er verdt å nevne at antenne på Svalbard og Antarktis antagelig må regnes med noe ekstra frakt i egne skip.

Tabell 9-7: Forenklet inventar for antenner for satellittkommunikasjon

Komponent	Mengde liten (3.7m) antenne	Mengde stor (7.3m) antenne
Aluminium (største delen av antenne) [kg]	934	2660
Stål (motvekt) [kg]	200	200
Betong (base) [kg]	500	1000
Elektronikk [kg]	60,2	83,4
Forsterker (high power amplifier, HPA) [W]	25	250
Effektbehov antenne ellers [W]	15	30
Årlig strømforbruk [tusen kWh]	70	491
Fiber optisk kabel til datasenter [m]	500	500

¹¹⁰ [ESA Contract No. 4000123991/18/NL/GLC/as - Executive Summary Report](#)

Basert på det samlede effektbehovet i antenne og HPAen er det beregnet et totalt effektbehov som må dekkes av aggregat og UPS i tilfelle strømmen går. Modellen for aggregat og UPS er beskrevet i mer detalj i kapittel 9.6.6 & 9.6.7. Dieselforbruk i aggregatet er ekskludert på grunn av manglende data – i praksis betyr dette at vi antar at det aldri er strømbrydd.

Antenner og tilhørende komponenter lever 10-15 år, og det er antatt en gjennomsnittlig levetid på 13 år for alt utstyr i bakkestasjonen, basert på dialog med KSAT.

Små antenner krever nesten aldri vedlikehold, mens store antenner har fast vedlikehold hver ½ - 1 år.

9.6. Data – Datasenter

Dette kapittelet forklarer nærmere hvordan data om datasenter er innhentet, og hvordan LCA-modellen for datasenter er bygd. Tabell 9-8 oppsummerer datasentrene det er samlet informasjon om i studien. Kapasiteten lagt fram i tabellen summerer seg kun til 147 MW, mens Norsk Datasenterindustri oppgir at installert effekt er 247 MW. Det er derfor lagt til estimer basert på gjennomsnittlig PUE og utnyttelsesgrad slik at samlet installert effekt tatt høyde for i studien samsvarer med totalen fra Norsk Datasenterindustri.

Tabell 9-8: Nøkkeltall for datasentrene som er tatt med i studiet

Datasenter	Eier	Kapasitet [MW]	Utnyttelsesgrad	Beslaglagt areal [m ²]	PUE
OSL-Enebakk	Green Mountain	93	65 %	24 673	1.2
TEL-Rjukan		7.5	50 %	4 722	1.14
SVG-Rennesøy		52	50 %	0 (under bakken)	1.18
OSL - Hamar		90	100 %	299 207	1.2
AQ-OSL1, Hønefoss	AQ-Compute	21	Ukjent	19 979	Ukjent
OS-IX Oslo	Bulk Data Centers	14	Ukjent	19 169	Ukjent
N01		42	Ukjent	126 905	
OSL03, Fetsund	Stack Infrastructure	14	Ukjent	15 519	1.35
OSL01A, Ulven		8	Ukjent	6 794	1.35
OSL04, Holtskogen		6	Ukjent	13 314	1.35
OSL02A, Rosenholm		4	Ukjent	15 466	1.35
Blix BDC Oslo	Blix Solutions	1	Ukjent	-	1.25

Lindeberg, Oslo	NHDC (nå Blix)	0.3	Ukjent	-	Ukjent
Lefdal Mine	Lefdal Mine Data Center	80	50 %	0 (under bakken)	1.15
OSL3	Orange Business	Ukjent	Ukjent	7 765	Ukjent
OSL5		Ukjent	Ukjent	113 404	Ukjent
Betzy	Sigma2 (nasjonal HPC-klynge)	0.95	100%	0 (i andre lokaler)	Ukjent
Fram		0.3	100%	0 (i andre lokaler)	Ukjent
Saga		0.14	100%	0 (i andre lokaler)	Ukjent

Resultatene til blant annet ADEME viste at fysisk infrastruktur er en vesentlig del av



påvirkningen til datasenter. Datasenterinfrastruktur omfatter bygninger, elektronisk utstyr, nettverksutstyr, og utstyr for å sørge for kontinuerlig drift som uninterruptible power supply (UPS) og aggregater.

For LCA-modellen trengs både informasjon om mengden av ulike komponenter og hva disse komponentene består av (i form av materialer). Følgende avsnitt beskriver først hvordan vi har estimert mengden med ulike typer utstyr med utgangspunkt i nøkkeltall fra datasentrene, samt hvordan de ulike komponentene av den fysiske infrastrukturen i et datasenter er modellert i SimaPro.

9.6.1. Servere

Servere i datasenter antas å være enten av typen HPC eller tradisjonell. Modellen for tradisjonell server er bygd basert på data oppgitt i Peñaherrera Vaca (2024)¹¹¹, som igjen er basert på analyse av en HPE ProLiant DL380. HPE er, sammen med Dell, hovedaktøren i servermarkedet, og dette er en vanlig servervariant som antas å være representativ for gjennomsnittlig materialsammensetning av en server i nåværende marked.

Fordi det ikke finnes eksisterende LCA av HPC-servere, har vi antatt at en HPC-server er som en tradisjonell server, men med fire ganger så mye prosessor og halvparten så mye lagringskapasitet. Dette er igjen en forenkling ettersom regnekraften til en HPC-server består av en kombinasjon av vanlige prosessorer (CPU) og grafikkprosessorer (GPU), som vi ikke har kunne skille mellom.

En tradisjonell server antas å dra 1,3 kW, mens en HPC-server drar 10 kW. Levetiden til tradisjonelle servere antas å være 6 år. I HPC anvendelser er man mer avhengig av å ha

¹¹¹ Peñaherrera Vaca, Fernando Andres. "Analysis of Interactions between Raw Material and Energy Demands for Data Centers." Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2024. <https://d-nb.info/132462843X/34>.

høyest mulig ytelse og serverne skiftes hvert 4. år når det kommer en ny generasjon med teknologi fra produsentene. Levetidene er basert på dialog med industrien

Fra utnyttet effekt i et datasenter kan vi beregne total IT-kapasitet basert på kalkulatorene fra Schneider, men vi vet ikke fordelingen mellom HPC servere og tradisjonelle servere data datasenteraktørene ikke har ønsket å oppgi dette. Vi har antatt at 90% av kapasiteten går til tradisjonelle servere i de fleste datasentrene. Unntaket er Sigma2 serverne, som benyttes til forskningsformål og består kun av HPC, og Lefdal Mine Data Center, som har spesialisert seg på å tilby infrastruktur til HPC kunder, hvor vi har antatt 90% HPC anvendelser.

9.6.2. Ekstern lagring

I tillegg til internlagring i serverne, har datasenter ofte eksternlagring for å håndtere store datamengder. Mens solid state drives (SSD) er dominerende i forbrukerelektronikk, er hard drives (HDD) fortsatt vanligst i datasentersegmentet¹¹². Vi har derfor modellert den eksterne lagringskapasiteten til å bestå av HDDer, ved bruk av en prosess til dette fra ecoinvent.

Det finnes dessverre lite data om mengden med ekstern lagring tilknyttet datasenter infrastruktur, og dette er svært avhengig av kunde – en videostreamingtjeneste vil eksempelvis måtte ha veldig mye lagringsplass i forhold til andre typer tjenester. EU rapporten «Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud market»¹¹³ anslår total mengde med ekstern lagring i EU28 i 2018. Ved å normalisere dette med hensyn på totalt energiforbruk i datasenter i EU28 i samme tidsrom, får vi et estimat på hvor mye eksternlagring som er i bruk per kWh energiforbruk i datasenter. Dette benyttes til å anslå mengde harddisker i bruk i Norge.

9.6.3. Nettverksutstyr

I tillegg til utstyr for å lagre og prosessere informasjon, krever datasenter en viss mengde nettverksutstyr. Switcher håndtere intern dataflyt mellom enheter, mens routere sender data mellom internt nettverk og internett. Interconnect brukes til å sammenkoble flere switcher og routere i mer komplekse systemer. Nettverksutstyret består av kretskort, ledninger og bokser for å holde alt på plass. Materialer som inngår i produksjonen av disse er svært likt en server eller datamaskin.

Ifølge Schneiders «Data center power sizing calculator» så trekker nettverksutstyr 8,8-10 % mer effekt enn servere. I «Analysis of Interactions between Raw Material and Energy

¹¹² [A Balancing Act: HDDs and SSDs in Modern Data Centers \(westerndigital.com\)](https://www.westerndigital.com)

¹¹³ European Commission. Directorate General for Communications Networks, Content and Technology., Environment Agency Austria., Borderstep Institute, and Umweltbundesamt. *Energy-Efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-Friendly Cloud Market: Final Study Report*. LU: Publications Office, 2020. <https://data.europa.eu/doi/10.2759/3320>.

Demands for Data Centers” estimeres det at nettverksutstyr er ca. 10 % i vekt, av servere med tilsvarende materialsammensetning. Basert på disse anslagene har vi beregnet nettverksutstyret ved å legge på 10 % på bidraget fra servere.

9.6.4. Stativ

Servere i et datasenter oppbevares i såkalte «racks» eller stativ. En 42U stativ, som har plass til 42 servere, veier ca. 140 kg tonn.¹¹⁴ For enkelthetsskyld er dette modellert som rent stål, selv om det i praksis kan inneholde en del plast, glass og aluminium.

9.6.5. Kjølesystem

Kjøleteknologi i datasenter kan grovt sett deles i to hovedgrener: luftkjøling og væskekjøling. Mens luftkjøling fungerer som tradisjonell ventilasjon tilkoblet en varmpumpe, innebærer vannkjøling å sirkulere væske mot komponentene som må kjøles. I noen tilfeller er væsken sirkulert i rør som har en kontaktflate mot eksempelvis serveren, mens for de mest energitette applikasjonene dyppes IT-komponentene direkte i kjølevæsken. Luftkjøling er fortsatt den dominerende teknologien, men væskekjøling er nødvendig for eksempel for HPC applikasjoner, og har bedre effektivitet.

Det er funnet kun én studie som tar for seg miljøeffektene av kjølesystem i datasenter, og komponentene for en 350 kW luftkjølesystem er modellert basert på masteravhandlingen «Life Cycle Assessment of a High-Density Datacenter Cooling System: TeliaSonera's 'Green Room' Concept».¹¹⁵ Modellen for kjølesystem utelater rørinfrastruktur i bygget (kun det som er i tilknyttet et aktuelt rom er modellert). Inventaret oppgitt i appendiksen er benyttet, med unntak av infrastrukturkomponenter (UPS, osv) som dekkes av andre deler av modellen.

Behov for kjøleeffekt er skalert med samlet last ved å bruke kalkulatoren til Schneider. All kjøleinfrastruktur modelleres som luftkjøling, ettersom dialog med industriaktører tilsier at det er kun en liten andel av industrien, hvor ekstremt høy ytelse kreves, som benytter væskekjølesystemer. Det er mulig at væskekjøleteknologi vokser med inntoget av AI og må dermed tas hensyn i senere modeller.

9.6.6. UPS og batteri

Datasenter er avhengig av å holde driften gående dersom det blir strømbrydd, og for kritiske anvendelser må systemene kunne være i drift konstant. En «Uninterruptible power supply» (UPS) er en innretning som er koblet mellom serverne og strømforsyningen, slik at den kan slå på reserverestrøm via batteri øyeblikkelig dersom det blir strømbrydd. UPS er

¹¹⁴ [Exploring Server Rack Weight | Static vs. Dynamic Load Capacity \(enconnex.com\)](https://enconnex.com/explore-server-rack-weight-static-vs-dynamic-load-capacity)

¹¹⁵ Oliveira, Felipe B. "Life Cycle Assessment of a High-Density Datacenter Cooling System: TeliaSonera's 'Green Room' Concept." KTH Royal Institute of Technology, 2012.

dimensjonert for å kunne levere strøm i noen minutter, fram til et aggregat tar over og kan holde driften gående mye lengre.

Produsenten Eaton har publisert en livsløpsanalyse av en av sine UPSer, «Eaton 93PM»¹¹⁶, som forsyner 300 kW. I denne LCAen er det oppgitt materialsammensetning i prosent, som vi har brukt videre til å modellere en UPS med en referansevekt på 565 kg. Materialkategoriene «Others», som utgjør 2.5 % av totalvekt, har vi antatt er ubetydelig og utelatt.

UPS systemer kan kobles til enten bly- eller litiumionbatterier. Bly er fortsatt den mest utbredte teknologien. I modellen har vi modellert UPSer med begge batterityper, hvor vi antar at litiumionbatteriet er fire ganger så energitett som blybatterier. Litiumionbatterier antas å utgjøre 10% av totalbeholdningen.

UPS antas å ha en levetid på 13 år, og vi antar at installert effekt av UPSene er 130 % av IT utstyr. Dette er basert på estimater fra industrien.

Det er mindre vanlig å ha UPS i HPC anvendelser. Vi har allikevel antatt full dekning av UPS for alle typer anvendelser. Dette er til dels fordi vi ikke konkret har tatt hensyn til redundans i disse systemene. Datasentre opererer med en mengde redundans i kritiske systemer som UPS, slik at hvis for eksempel en UPS er ute av drift er man allikevel sikret kontinuerlig drift. Redundansen betinges ofte som enten N+1, som betyr at man har et sett med ekstra utstyr i forhold til det det er behov for, eller 2N, som betyr at man har dobbelt så mye utstyr som det er behov for. Redundansen er som regel per kunde, og siden vi ikke har oversikt over antall eller krav til kundene hos hver av de store datasentrene, er det vanskelig å anslå redundans i modellen. Dette vil føre til en systematisk underestimering av UPS, mens å regne med UPS også til HPC serverne fører til en systematisk overestimering av mengde UPS. Disse effektene kan antas å kansellere hverandre til en viss grad, men burde undersøkes videre.

9.6.7. Aggregat

Aggregat kobles på for å forsyne IT utstyret med strøm i tilfelle et lengre strømbrydd. I modellen benyttes et datasett for et aggregat fra ecoinvent. Behovet for aggregatkapasitet beregnes som summen av 130 % av IT utstyr-lasten, og 150 % av effekten kjølesystemene krever, jamfør Schneider «Calculating total power requirements for data center».

Mengde med diesel brukt i aggregat per år er anslått ved å benytte data fra bærekraftsrapportene til Green Mountain¹¹⁷ og Bulk Infrastructure¹¹⁸. Bidraget fra Scope 2

¹¹⁶ G Ghonge, Sagar, and Kirsi Hakalahti. "Environmental Life Cycle Assessment of 93PM Uninterruptible Power Supplies." Eaton, 2012.

¹¹⁷ [Green-Mountain-Sustainability-report-2023.pdf \(greenmountain.no\)](https://greenmountain.no/Green-Mountain-Sustainability-report-2023.pdf)

¹¹⁸ [BULK Environmental-Report-2023.pdf \(bulkinfrastructure.com\)](https://bulkinfrastructure.com/BULK-Environmental-Report-2023.pdf)

brukes til å beregne liter diesel brukt i 2023. Liter diesel er så delt på installert effekt per datasenter, og snittet av verdiene til Green Mountain og Bulk Infrastructure brukes til å anslå dieselforbruk hos de andre aktørene. Verdien brukt er 18 liter diesel/kW installert effekt/år. Bruken av diesel i et aggregat vil kunne variere mye avhengig av hyppighet og varighet av strømbrudd, slik at dette tallet har høy usikkerhet.

9.6.8. Transformator

En transformator benyttes i datasenter til å tilpasse strømmen spenningsnivået som kreves i IT utstyret. Det er vanlig å ha en transformator per kunde.

Transformatorer er modellert basert på en environmental product declaration (EPD) fra ABB for en 250 MVA transformator.¹¹⁹ Det er regnet ut et samlet effektbehov for IT utstyr og kjølesystemer, og dette regnes om til et antall transformatorer som dekker behovet.

9.6.9. Bygningsmasse

Modellen inkluderer også bygningsmassen som er i bruk for å huse datasentrene. Ikke alle bygningene som er benyttet som datasenter i Norge er bygget for formålet. Nevneverdige eksempler er Lefdal Mines som er i en gammel gruve, Green Mountain Rennesøy som benytter et gammelt NATO våpenlager, og Bulk Infrastructure som har overtatt et gammelt trykkeri. I denne analysen velger vi å overse mulige forskjeller i bygningsmasse. Samlet innvendig areal for hvert datasenter er samlet inn og det er benyttet en prosess per kvadratmeter for generisk industribygg (ecoinvent: Building, hall, steel construction {GLO}| market for building, hall, steel construction | Cut-off, U), fordelt på en forventet levetid på 50 år. Det er modellert 82 535 kvm med bygningsmasse. I resultatene framkommer det at bygningsmasse har svært lav relativ påvirkning, slik at denne grove antagelsen er tilstrekkelig for analysens formål.

9.6.10. Effekten av hyperscale-aktører

I dialog med Microsoft kommer det også fram at de såkalt hyperscale-aktørene innenfor datasentermarkedet (Microsoft, AWS, Google) benytter seg av tilpasset utstyr som er langt mer effektiv, både i materialbruk og energi, enn hyllevarer. Det er derfor mulig at modellene for IT utstyr overestimerer påvirkningene til utstyret som benyttes av disse leverandørene. Det er ikke mottatt datagrunnlag for å justere modellen for hyperscale aktørene; derfor har vi valgt å benytte hyllewarekomponentene i modellen. Dette kan føre til at fotavtrykket fra IT utstyr overestimeres.

Med inntoget av for eksempel Google i Skien, er det mulig at en langt større del av datasentermarkedet i Norge i framtiden tilhører dette segmentet og at stordriftsfordelene for hyperscaleaktørene må tas hensyn til mer eksplisitt.

¹¹⁹ [Power Transformer 250 MVA \(abb.com\)](https://www.abb.com/global/scn/Power_Transformer_250_MVA)

9.7. Materialfotavtrykk

Tabell 9-9 inneholder data om materialfotavtrykk fra kritiske råmaterialer som definert av EU. Dette er samme data som er presentert i Figur 6-10, men presentert som tabell for å gjøre det enklere å bruke resultatene videre.

Tabell 9-9: Materialfotavtrykket for kritiske råmaterialer som definert av EU, per teknisk segment

Material	Sluttbruker- enheter	Datasenter	Mobilnett	Fastnett	Kjerne- og transmisjons- nett	Satellitt	Totalt
Antimony	5 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	5 kg
Arsenic	178 kg	5 kg	26 kg	2 kg	2 kg	0 kg	178 kg
Boron	12 564 kg	915 kg	1263 kg	143 kg	60 kg	13 kg	12 564 kg
Cerium	1 582 kg	245 kg	405 kg	62 kg	36 kg	9 kg	1 582 kg
Cobalt	8 386 kg	219 kg	1231 kg	72 kg	73 kg	6 kg	8 386 kg
Dysprosium	1 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	1 kg
Europium	7 kg	1 kg	2 kg	0 kg	0 kg	0 kg	7 kg
Gadolinium	22 kg	3 kg	6 kg	1 kg	0 kg	0 kg	22 kg
Gallium	659 kg	131 kg	156 kg	13 kg	8 kg	18 kg	659 kg
Germanium	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	3 kg	0 kg
Graphite	6 470 kg	931 kg	747 kg	93 kg	43 kg	51 kg	6 470 kg
Hafnium	408 kg	51 kg	24 kg	10 kg	9 kg	1 kg	408 kg
Holmium	0 kg	5 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0	0 kg
Lanthanum	778 kg	116 kg	189 kg	29 kg	17 kg	4 kg	778 kg
Lithium	5 177 kg	4 kg	0 kg	0 kg	0 kg	2 kg	5 177 kg
Magnesium	240 478 kg	10902 kg	87800 kg	3847 kg	4122 kg	392 kg	240 478 kg
Neodymium	573 kg	90 kg	149 kg	23 kg	13 kg	3 kg	573 kg
Niobium	445 kg	151 kg	73 kg	33 kg	23 kg	8 kg	445 kg
Praseodymium	191 kg	30 kg	50 kg	8 kg	4 kg	1 kg	191 kg
Samarium	28 kg	4 kg	7 kg	1 kg	1 kg	0 kg	28 kg
Scandium	3 kg	0 kg	1 kg	0 kg	0 kg	0 kg	3 kg
Silicon	453 153 kg	12 264 kg	66 508 kg	3 944 kg	4 047 kg	328 kg	453 153 kg
Tantalum	23 222 kg	1 840 kg	32 kg	1 kg	1 kg	1 kg	23 222 kg
Vanadium	4 kg	0 kg	1 kg	0 kg	0 kg	0 kg	4 kg
Yttrium	2 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	2 kg

9.8. NACE sektorer aggregering

Følgende tabell gjengir alle sektorene benyttet i kryssløpsmodellen, samt den overordnede kategoriseringen som er bruk til å forenkle resultatpresentasjonen.

Tabell 9-10 NACE koder og kategorisering.

Sektor kode	NACE Sektor navn	Kategorisering
A01	Agriculture	Primær
A02	Forestry and logging	Primær
A03	Fishing and aquaculture	Primær
B	Mining and quarrying	Bergverksdrift
C10T12	Food, beverages, tobacco	Primær
C13T15	Clothes and shoes	Primær
C16	Wood and wood products	Industri
C17	Paper products	Industri
C18	Recorded media	Industri
C19	Coke and petroleum products	Industri - kull og petroleum
C20	Chemical products	Industri -kjemikalier
C21	Pharmaceuticals	Industri
C22	Plastics and rubber	Industri
C23	Non-metallic minerals	Ikke-metallholdige mineralprodukter
C24	Basic metals	Metaller
C25	Metal products	Metallvarer
C26	Computer, electronics, optical	Datamaskiner og elektroniske og optiske produkter
C27	Electrical equipment	Elektrisk utstyr
C28	Machinery	Maskiner
C29	Vehicles	Industri
C30	Other transp. Equipment	Industri
C31_32	Furniture	Industri
C33	Machine repair	Tjenester
D35	Electricity	Elektrisitet
E36	Water	Tjenester
E37T39	Sewerage, waste treatment	Tjenester
F	Construction	Bygg & anlegg
G45	Wholesale vehicles	Tjenester
G46	Trade	Tjenester
G47	Retail	Tjenester
H49	Land transport	Transport
H50	Water transport	Transport

H51	Air transport	Transport
H52	Warehousing	Transport
H53	Post	Tjenester
I	Food and Restaurants	Tjenester
J58	Publishing	Tjenester
J59_60	Movie and TV industry	Tjenester
J61	Telecommunications	Telekommunikasjon
J62_63	Computer services	Infomrasjonsteknologi tjenester
K64	Financial services	Tjenester
K65	Insurance and pension	Tjenester
K66	Financial other	Tjenester
L	Real estate	Tjenester
M69_70	Accounting services	Tjenester
M71	Architecture services	Tjenester
M72	R&D	Tjenester
M73	Advertising	Tjenester
M74_75	Other prof and research	Tjenester
N77	Rental	Tjenester
N78	Employment activities	Tjenester
N79	Travel agency	Tjenester
N80T82	Security and office admin	Tjenester
O84	Defense	Tjenester
P85	Education	Tjenester
Q86	Health	Tjenester
Q87_88	Residential	Tjenester
R90T92	Arts and entertainment	Tjenester
R93	Sports	Tjenester
S94	Membership	Tjenester
S95	Repair of PC and HH goods	Tjenester
S96	Other personal	Tjenester



Gi dine innspill her:

