



# DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

**Lektor i Realfag med fordypning i  
Kjemi og matematikk**

Vårsemesteret, 2022

Åpen

**Forfatter:** Morten Flaata Hermansen

(signatur forfatter)

**Fagansvarlig:** Roald Kommedal

**Veileder:** Roald Kommedal

**Tittel på masteroppgaven:** Antimikrobiell resistens og vannets sirkulærøkonomi

**Engelsk tittel:** Antimicrobial resistance and the circular economy of water

**Studiepoeng:** 30

**Emneord:**

Bærekraftig utvikling, Sirkulær økonomi,  
Fosfor, Avløpsvann, antibiotikaresistens,  
FNs Bærekraftsmål, En – Helse perspektiv

Sidetall: 69

Stavanger, 2022

dato/år

## Sammendrag

I takt med en økende global befolkning og en voksende industri, har utslippene av klimagasser økt, blir stadig større oppmerksomhet blitt rettet mot arbeidet for en mer bærekraftig fremtid. Verden har en stadig økende befolkning er det et voksende behov for tilgang på rent drikkevann, mat og ressurser. FN sitt arbeid for bærekraftig utvikling er formulert gjennom avgrensede Bærekraftsmål, som er rettet mot å løse flere av de globale problemene vi står overfor. Et av virkemidlene for å innfri disse målene er å ta i bruk en sirkulær økonomisk tankegang. Med dette menes gjenbruk av ressurser flere ganger, og har til forskjell fra en lineærøkonomisk tilgang om bruk og kast

En av ressursene som har stort potensiale for sirkulærøkonomisk tankegang; er vann. Avløpsvann inneholder fosfor, nitrogen og organiske forbindelser, som alle kan gjenbrukes om de ekstraheres på rett måte. Spesielt fosfor har en viktig rolle her, da fosfor er en ikke – fornybar ressurs, som er helt essensiell for gjødsel i landbruket. Estimerer sier at innen 10 – 250 år, vil verdens fosforreserver være tomme (Se 2.5.3 Tilgang på fosfor). Man trenger derfor en ny kilde, for å kunne opprettholde et intenst bærekraftig landbruk. I avløpsvann finner man en del løst fosfat som er tilgjengelig for opptak i planter, men fosfor bundet til organiske forbindelser vil ha en begrenset tilgjengelighet for planter.

Et annet globalt problem som får stadig oppmerksomhet i medier og forskningsmiljøer, er utviklingen av antimikrobiell resistens. Økt bruk av antibiotika til medisinsk behandling for mennesker og i landbruket, fører til utvikling av antiresistente bakterier og spredning av gener som koder for antimikrobiell resistens. Mye av antibiotika og antibiotika resistente organismer ender opp i kommunalt avløpsvann og derfor i avløpsrensaneanlegg. Biologiske rensaneanlegg blir betraktet som steder for økt utvikling og spredning for slik resistens. Fakultativt anaerobe fosfor akkumulerende bakterier i biologiske rensemetoder er i dag ansett for å være de mest effektive, for opptak og gjenvinning av fosfor. Regulering og grenseverdier for antibiotika og antibiotika resistens organismer er minimal.

Innføring av sirkulær økonomisk tankegang for vann vil være en viktig bidragsyter for å innfri flere av FNs Bærekraftsmål, da det vil bidra til å øke tilgangen på drikkevann og ressurser som fosfor og nitrogen til kunstgjødsel. Samtidig vil det kunne bidra til å redusere klimagassutslipp, ved å redusere behovet for produksjon av blant nitrogen og mineralsk fosfor.

Utfordringen er at en slik sirkulær tankegang vil kunne komme i konflikt med ønsket om å ha en god global folkehelse (FNs Bærekraftsmål Nummer 3), da økt resirkulering av ressurser i avløpsvann, som ekstraksjon av fosfor, vil kunne øke risikoen for utvikling og spredning av antimikrobiell resistens. Dette representerer en fare for at eksisterende behandlingsmetoder blir ubrukelige, og potensielt føre til økte dødsrater på global basis. Sirkulær økonomisk tankegang må derfor innta et En – Helse perspektiv, der helse, mat og miljøperspektiver kombineres. Et virkemiddel her er at gjenvinning av ressurser fra avløpsvann reguleres tettere og fra et en – helseperspektiv, og teknologiutvikling og råvarer i sirkulærsamfunnet tar et integrert hensyn til helseeffekter. Områder i verden som primært har behov for rent drikkevann, bør tenke mer i en resirkulær tankegang, og primært fokusere på å ha tilgang på rent drikkevann, enn å tenke fullskala sirkulær økonomisk, og utsette de allerede utsatte drikkevannsressursene sine for en ekstra fare for spredning av antibiotika resistens. Områder i verden med sikker tilgang til drikkevann, bør fokusere på å ekstrahere mest mulig næringsstoffer fra vannet, før vannet slippes ut igjen til vannets kretsløp. På denne måten, kan man muligens sikre delvis sirkularitet, samtidig som man senker presset på noen av verdens allerede hardt pressede drikkevannskilder, og man kan redusere risikoen for spredning av smitte og miljøfarlige forbindelser.

## Forord

Endelig etter 9 år med ulike studier innenfor kjemi, biokjemi, samfunnsfag og Lektor i Realfag er jeg endelig klar til å ta fatt på voksenlivet.

Vil benytte denne avsluttende masteroppgaven til først og fremst få takke min veileder Roald Kommedal, både for gode samtaler om faglige problemstillinger, både knyttet til oppgaven og til fagfeltet for øvrig, samt de gode fotballsamtalene vi har hatt hvor vi begge er hjertens enige i hvem som er laget som står vårt hjerte nærmest.

Jeg vil også takke for den flotte tiden jeg har hatt her på UiS, hvor jeg har truffet mange medstudenter som har gjort studietiden til en fantastisk tid, og mange av dere er nå blant mine aller nærmeste venner.

Vil også takke min gode familie for støtten gjennom studietiden, ville ikke vært like lett om jeg ikke hadde hatt en så formidabel gjeng i ryggen. Og ikke minst den aller største takken til min kjære Rebekka, som tålmodig har støttet meg i alle eksamensperioder, studieperioder og alle vendinger jeg har tatt i yrkesvalg, jeg lover at jeg nå har funnet mitt kall her i livet, og er klar for å ta fatt på arbeidslivet for fullt.

Takk for en fantastisk tid!

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	2
Forord.....	4
Figurliste .....	7
Ordforklaringer .....	8
1. Introduksjon .....	9
1.2 Problemstilling og hensikt med oppgaven .....	11
2. Bakgrunn og begrepsavklaring.....	13
2.1 Bærekraftig utvikling .....	13
2.1.1 Bærekraftig utviklings tre dimensjoner.....	13
2.1.1.1 Klima og miljø .....	13
2.1.1.2 Økonomi og grønn vekst .....	15
2.1.1.3 Sosiale forhold .....	16
2.1.2 FNs Bærekraftsmål.....	16
2.2 Det grønne skiftet.....	17
2.3 Fra lineær til sirkulær økonomi.....	18
2.3.1 Lineær økonomi .....	18
2.3.2 Hva er sirkulær økonomi.....	19
2.3.3 Innføring av sirkulær økonomi.....	20
2.4 Vann.....	20
2.4.1 Vann som ressurs .....	21
2.4.2 Drikkevann.....	22
2.4.3 Vannforbruk i industri.....	23
2.4.4 Vannforbruk landbruket .....	23
2.4.5 Ressurser i vannet .....	24
2.4.5.1 Nitrogen .....	26
2.4.5.1 Haber – Bosch prosessen.....	26
2.4.5.2 Nitrogen og sirkulær økonomi.....	27
2.5 Fosfor og fosformangel .....	28
2.5.1 Fosfor som næringsstoff for mennesker .....	28
2.5.2 Fosfor som næringsstoff for planter .....	29
2.5.2.1 Kunstgjødsel.....	30
2.5.3 Tilgang på fosfor .....	30
2.5.4 Fremstilling av fosfor .....	32
2.6 Vannrensing av avløpsvann .....	33
2.6.1 Mekanisk behandling .....	34

2.6.2	Biologisk rensing .....	35
2.6.3	Kjemisk rensing .....	36
2.6.4	Kombinasjon av metoder .....	36
2.6.5	Avløpsslam og slambruk .....	37
2.6.6	Utfordringer ved slam fra avløpsrensing i landbruket .....	38
2.6.7	Fosfor i avløpsslam .....	38
2.6.7.1	Forbedret biologisk fosfor fjerning - EBPR .....	39
2.7	Rensing av drikkevann .....	40
2.7.1	Filtrering/Siling .....	41
2.7.2	Alkalisering .....	41
2.7.3	Desinfisering .....	42
2.7.4	Gjenbruk av avløpsvann til drikkevann .....	42
2.8	Antibiotika og antimikrobiell resistens .....	43
2.8.1	Antibiotika resistens .....	43
2.8.2	Antiresistente bakterier i avløpsvann .....	45
2.8.3	Kjente eksponeringsveier for ARG .....	46
2.8.3.1	Smittevei 1 – Fra jordsmonn til planter .....	46
2.8.3.2	Smittevei 2+9 – Fra planter til dyr og fra dyr til mennesker .....	47
2.8.3.3	Smittevei 3 – Fra Planter til mennesker .....	47
2.8.3.4	Smittevei 4 – Direkte fra jordsmonn til mennesker .....	47
2.8.3.5	Smittevei 5+6 – Fra jordsmonn til vann og fra vann til mennesker .....	47
2.8.3.6	Smittevei 7 + 8 – Fra vann til fisk til mennesker .....	47
2.8.3.6	Smitte mellom mennesker .....	48
2.8.3.6	Fjerning av ARG fra avløpsvann .....	48
2.9	En – helseperspektivet .....	49
3.	Diskusjon .....	50
3.1	Vannets sirkulærøkonomi .....	50
3.2	FNs Klimarapport 2022 .....	50
3.3	Fordeler og nødvendigheter med vannets sirkulære økonomi .....	51
3.4	Optimal fosforfjerning og utvikling av AMR .....	53
3.5	Globale utfordringer med sirkulær økonomi for vann .....	55
3.6	Sirkulærøkonomien og FN's Bærekraftsmål .....	56
3.7	Fremtidige perspektiver for vannets sirkulærøkonomi .....	58
4.	Konklusjon .....	59
	Kilder .....	61

## Figurliste

<b>Figur 1</b> Gjennomsnittstemperaturen på jorda fra 1880-1930, som viser en økende stigende trend fra 1960 og frem til i dag (Energi og klima, 2021). .....	9
<b>Figur 2</b> Antall mennesker i verden fra 1800-2056. (Tønnesen, Verdens befolkning, 2022) .....	10
<b>Figur 3</b> CO2 utslipp siden 1960 tallet. (FN Sambandet, 2021) .....	14
<b>Figur 4</b> CO2 utslipp per innbygger i et utvalg land. (FN Sambandet, 2021) .....	14
<b>Figur 5</b> Økologisk fotavtrykk i ulike land i verden. (Dahle, Haraldsen, & Ryssevik, 2020).....	15
<b>Figur 6</b> Oversikt over FNs bærekraftsmål som ble vedtatt i 2015 (FN sambandet, 2021) .....	16
<b>Figur 7</b> Oversikt over verdens uttak av naturressurser fra 1970-2019, sortert på materialgruppene: Metaller, Fossile brensler, Ikke-metalliske mineraler og biomasse (Materialflows.net, 2022) .....	18
<b>Figur 8</b> Sirkulærøkonomi baserer seg på å bruke råvarene om igjen og om igjen flere ganger ved hjelp av resirkulering og gjenbruk (Adam, Bücker, Desguin, Madsen Vaage, & Sævi, 2017). .....	19
<b>Figur 9</b> Fordelingen av vann i verden. Nesten 97 % av vannet i verden finnes i havet som saltvann. 2,5 % er ferskvann, og av dette er nær 70 % fanget i is og isbreer (USGS, 2022) .....	21
<b>Figur 10</b> Oversikt over andel i befolkning i verdens land som har tilgang på trygt behandlet drikkevann (United Nations - UN Water, 2021) .....	23
<b>Figur 11</b> Oversikt over mengden vann landbruket har behov for i forhold til landets tilgjengelige ferskvannsressurser (FAO, 2021) .....	24
<b>Figur 12</b> Illustrasjon av karbonets kretsløp. CO2 som blir sluppet ut fra forbrenning av biogass i industri og transport, blir gjerne sett på som karbonnøytral. (Landbruk.no, 2019) .....	25
<b>Figur 13</b> Flytskjema av Haber-Bosch prosessen, hvor luft blir reagert med metan og vandamp i dannelsen av ammoniakk, NH <sub>3</sub> . (Vu, Do, & Mohan, 2018).....	27
<b>Figur 14</b> Illustrasjon av nitrogenets kretsløp. (Bedin, 2022) .....	28
<b>Figur 15</b> Illustrasjon av hvilke kilder som er vanlig for utvinning av fosfor til landbruket, Figuren viser antall Mt brukt hvert år (Cordell, Drangert, & White, 2009) .....	31
<b>Figur 16</b> Illustrasjon av fosforsyklusen. Mesteparten av fosfor stammer fra bergarter og jordsmonn. Grunnet nedbør vaskes det ut i havet og danner sedimentære bergarter (Fowler, Roush, & Wise, 2013) .....	32
<b>Figur 17</b> Illustrasjon av avløpsrensaneanlegg med primær og sekundær behandling (Encyclopædia Britannica, 2022) .....	34
<b>Figur 18</b> Avfallshierarkiet, som viser hvordan man ønsker å redusere avfall, og hvordan man optimalt sett utnytter avfall man har dannet (Loop - Stiftelsen for kildesortering og Gjennvinning, 2022). .....	37
<b>Figur 19</b> Figur over anaerob og aerob metabolisme for PAO (Yuan & Pratt, 2012).....	40
<b>Figur 20</b> Salg, i tonn av antibiotika fordelt på ulike sorter, til menneskelig bruk (VKM, 2020).....	44
<b>Figur 21</b> Oversikt over ulike mulige eksponeringsveier for ARG organismer. (VKM, 2020).....	46
<b>Figur 22</b> Potensiell spredning av ARG i mindre gårdsbruk ved sirkulær økonomisk bruk av vann (Huang, et al., 2019).....	55

## Ordforklaringer

AMR – Antimikrobiell resistens

ARB – Antibiotika resistente bakterier

ARG – Antibiotika resistente gener

EPBR – Enhanced Biological Phosphorus Removal

FN – Forente Nasjoner

HGO – Horisontal genoverføring

MF – Mikrofiltrering

NF – Nanofiltrering

PAO – Polyfosfat akkumulerende organismer

RO – Revers osmose

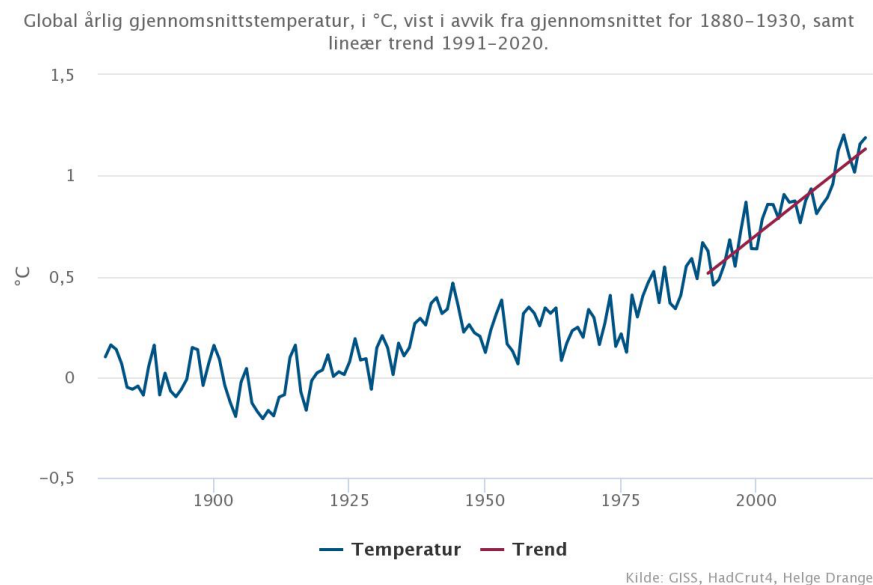
UF – Ultrafiltrering

WHO – Verdens Helseorganisasjon



## 1. Introduksjon

En av vår tids største globale utfordringer er å møte problemene knyttet til opprettholdelse av jordens klima, ressurser og befolkning på en bærekraftig måte. De siste 200 årene har verden opplevd en kraftig vekst i industri og medfølgende utslipp av klimagasser som blant annet karbondioksid (CO<sub>2</sub>). Proporsjonalt med de økte utslippene har gjennomsnittstemperaturen økt med 1,13 °C siden førindustriell tid (Energi og klima, 2021), og trenden for den globale gjennomsnittstemperaturen er som Figur 1 illustrerer, stigende. Det er stor internasjonal enighet om at klimautfordringene er et globalt problem som må løses. Ifølge den siste FN delrapporten som ble publisert i april 2022 er tiltakene forholdsvis små, i forhold til kunnskapen vi besitter om hvilke konsekvenser det økte utslippet vil ha. Det haster med å innføre en omfattende global omlegging av politikk, lovverk, industri og dagligliv for å møte denne store utfordringen som truer jordens fremtid (United Nations, 2022).



**Figur 1** Gjennomsnittstemperaturen på jorda fra 1880-1930, som viser en økende stigende trend fra 1960 og frem til i dag (Energi og klima, 2021).

Samtidig har den store utviklingen i industrien, lagt til rette for befolkningsvekst, og den har nærmeste skutt i taket etter den industrielle revolusjonen. Ifølge Figur 2, har verdens befolkning nærmest syv doblet seg fra tidlig 1800-tall og frem til i dag, og kun om noen få tiår, har vi passert 10 milliarder mennesker på jordkloden om veksten fortsetter i samme tempo (Tønnesen, Verdens befolkning, 2022).



Figur 2 Antall mennesker i verden fra 1800-2056. (Tønnesen, Verdens befolkning, 2022)

Med en slik vekst av mennesker, har behovet for ressurser også økt. Tilgangen på energi, varme, husly og næring har blitt et større og større behov som skal dekkes, noe som har lagt et økende press på jordens begrensede ressurser. Det produseres mer varer, det slippes ut mer klimagasser og behovet for rent drikkevann har økt. Menneskeheten har hele tiden klart å utnytte jordens ressurser på en måte som har ført til økt befolkningsvekst, og klart å øke bæreevnen i takt med den teknologiske utviklingen i industrien og i vitenskapen.

Spørsmålet om jorden har nok ressurser til å dekke den økte befolkningsveksten er ikke et nytt spørsmål, problemstillingen var aktuell allerede i 1798, da den britiske økonomen Thomas Robert Malthus (1766-1834) hevdet at matvareforsyningen og vanntilgangen ikke kan holde tritt med en ubegrenset befolkningsvekst, og at vi derfor må bremse befolkningsveksten før det begynner å regulere seg selv med krig, sult og pandemier (MacRae, 2021). Malthus sine teorier har gjennom historien blitt tilbakevist flere ganger, etter hvert som befolkningen har økt, fra i underkant av 1 milliard til nå godt over 7 milliarder ifølge Figur 2. Det har så langt ikke brutt ut noen store sykdommer eller kriger knyttet til kampen om ressurser som betydelig har redusert befolkningstallet i verden (kanskje med unntak av de siste års koronapandemi).

Men i takt med de økte utslippene av klimagasser, og et økende behov for ressurser som vann, mineraler og næringsmidler, har Malthus sine tanker fått nye ben å gå på. Ressursforbruket verden over tilsvarer at vi trenger 1,7 jordkloder for å opprettholde dagens nivå i fremtiden (Dahle, Haraldsen, & Ryssevik, 2020), vi har ikke nok til å fortsette slik og må derfor tenke mer bærekraftig på fremtiden. FN som er en av frontfigurene i arbeidet for bærekraftig utvikling satte for alvor søkelyset på bærekraftig utvikling ved rapporten «Vår felles framtid» som ble utgitt av *Verdenskommisjonen for miljø og utvikling*, som ble ledet av tidligere

statsminister i Norge, Gro Harlem Brundtland (1939 -). Rapporten blir sett på som et av startskuddene for arbeidet med å oppnå en mer bærekraftig utvikling (FN Sambandet, 2021).

For å oppnå en bærekraftig utvikling er vi nødt til å legge om måten vi tenker og forbruker ressurser på. Flere tiltak blir sett på som sentrale for å oppnå en bærekraftig fremtid, og mange av dem går under samlebegrepet *det grønne skiftet*. Blant omleggingene vi trenger å gjøre i vårt forbruksmønster for å sikre en bærekraftig fremtid, er overgangen fra et forbruksmønster som er lagt opp som en *lineær økonomi*, som enkelt kan beskrives som et bruk og kast samfunn, og over til en *sirkulær økonomi*. Ved overgang til sirkulær økonomi legges det opp til gjenbruk av ressurser, snarere enn å la dem gå ut av verdikjeden. Mange av verdens ressurser er det begrenset tilgang på, slik som ferskt drikkevann, fosfor og andre mineraler.

Denne oppgaven vil undersøke fordelene og utfordringene knyttet til gjenbruk av den livsnødvendige ressursen vann. Vannet i seg selv har en verdi. Men vann er også bærer av flere ressurser som vi kan utnytte ved å ta i bruk ulike rensemetoder. Ved å ta i bruk avløpsvann, utvinne ressurser som næringsstoffer og energi fra vannet, før man igjen bruker vannet som drikkevann og vanning i landbruket, får man en sirkulær bruk av vannet. Dette kan være med å bidra til en bærekraftig fremtid og reduksjon av verdens drikkevanns-, energi- og matvarekrise. Men en slik sirkulær tankegang vil kunne ha konsekvenser som gir økt risiko for den globale folkehelsen. Økt bruk av mikroorganismer i det vannrensingsteknologi gjør at det gjerne ikke er like hensiktsmessig å bruke i sirkulær økonomi, som det gjerne er ønsket i tankegangen om det grønne skiftet. Tanken om gjenbruk av ressurser kan da gjerne overlape med en annen av vår tids store utfordringer, antimikrobiell resistens. Står vi ved et veiskille, der vi må velge mellom bærekraftig utvikling med tanke på klima og ressurser eller det å kunne behandle livsfarlige sykdommer ved bruk av antibiotika, eller finnes det en gylden middelvei?

## 1.2 Problemstilling og hensikt med oppgaven

I denne oppgaven vil det undersøkes hvordan den sirkulære økonomien til vann vil kunne bidra til å løse flere av de globale krisene i verden knyttet til vann – og matvaremangel, og om dette kan løses på en trygg og bærekraftig måte. For å utforske dette vil følgende punkter undersøkes:

- Hvordan kan sirkulær tankegang med vann være med på å løse flere av de globale krisene, som matvaremangel, drikkevannsmangel og globale klimautslipp, med spesielt fokus på næringsstoffet fosfor.
- Hvilke utfordringer er knyttet til sirkulær tankegang med vann, med tanke på teknologibruk og gjenbruket av vann og ressursene i vannet.
- Hvilken rolle har sirkulær økonomien i FN sine bærekraftsmål, og hvilke utfordringer er knyttet til innføringen av sirkulær økonomi i verden.
- Undersøke hvordan FN sine bærekraftsmål knytter sammen sirkulær økonomi for vann med spredning av antibiotika resistens i et En – helseperspektiv.

Oppgaven vil undersøke eksisterende teknologier og terminologier som eksisterer i litteraturen, for å skape et bilde av hvilke fordeler og ulemper som eksisterer og kan oppstå med en økt, global satsning på sirkulær økonomi for vann.

## 2. Bakgrunn og begrepsavklaring

### 2.1 Bærekraftig utvikling

Bærekraftig utvikling er et utbredt begrep som daglig dukker opp i media, blant politikere og som et viktig tema i skolen. Enkelt forklart blir bærekraftig utvikling definert som «utvikling som tilfredsstillende dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstillende sine behov» (Andersen, 2021). I definisjonen som FN har formulert, snakkes det ikke kun om klima, slik allmennoppfatningen gjerne er, men et bredt spekter av områder, fra sult, fattigdom og likestilling, til innovasjon og ren energiproduksjon (United Nations Global Compact, 2022).

#### 2.1.1 Bærekraftig utviklings tre dimensjoner

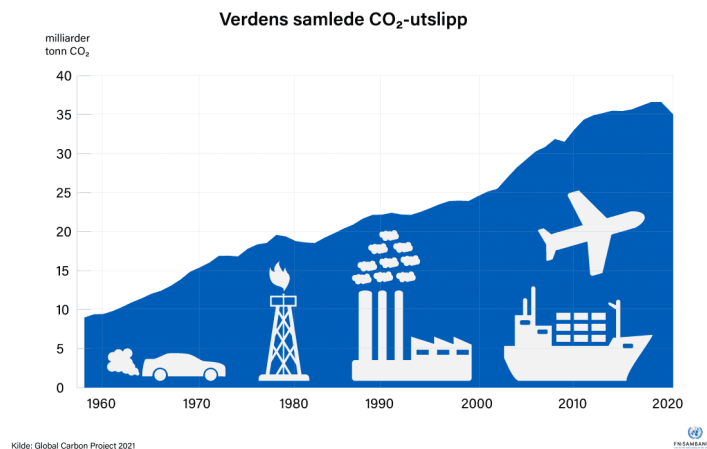
FN har identifisert tre hovedområder i arbeidet med bærekraftig utvikling, Klima og miljø, Økonomi og Sosiale forhold. For at noe skal betraktes som bærekraftig er det forholdene mellom disse tre såkalte dimensjonene av bærekraftig utvikling som avgjør dette (FN Sambandet, 2021). Alle tre dimensjonene henger sammen og vil samspille med hverandre for å oppnå bærekraftig utvikling i verden. For eksempel vil det å fjerne fattigdom være med å påvirke befolkningsvekst, som igjen vil kunne påvirke forbruk av ressurser i verden, mindre behov for ressurser vil igjen kunne være med å redusere klimagassutslipp.

##### 2.1.1.1 Klima og miljø

Innledningsvis viste Figur 1 at gjennomsnittstemperaturen på jorda de siste 150 årene har vært stigende. Det er en bred enighet blant de fleste klimaforskere at den økte temperaturen på jorden skyldes økte klimagassutslipp. Den økte temperaturen på kloden har igjen ført til hyppigere forekomster av ekstremvær, som orkaner, flom og tørke. Klimaet endrer seg ikke fra til dag, men etter å ha studert klimaet i flere tiår, ser man en utviklingstrend i både vær og temperatur, samtidig som Figur 3 illustrerer, CO<sub>2</sub> utslippene har økt jevnlig (FN Sambandet, 2021).

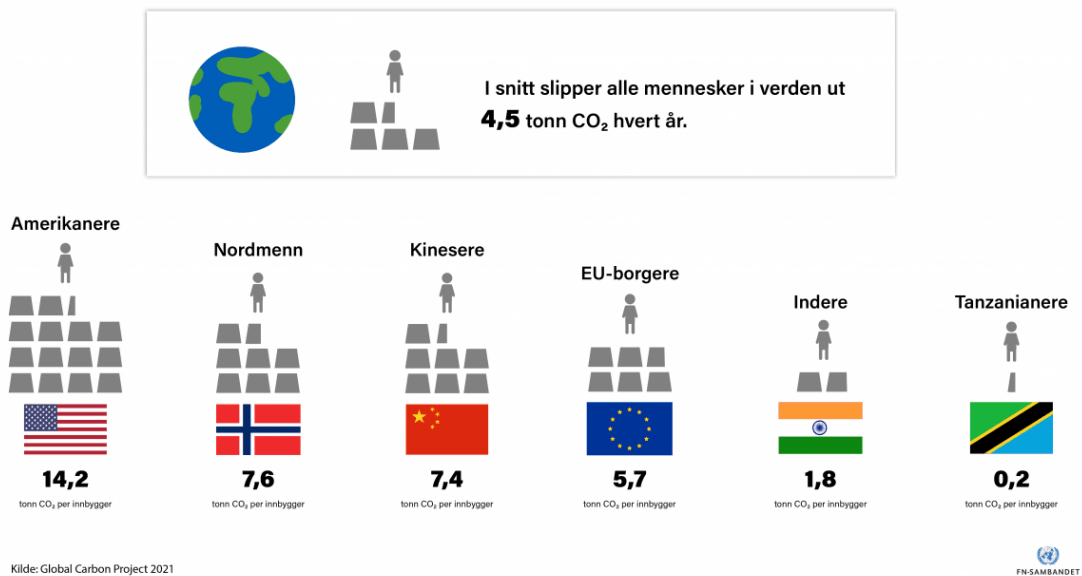
En av de mange problemene med klimaforandringer, er at de rammer urettferdig. De fattige landene som slipper ut minst klimagasser, er gjerne de som bli rammet hardest av ekstremvær og katastrofer. En naturkatastrofe i et utviklingsland fører ikke bare til mer ekstremvær, men utsetter også både infrastruktur og matproduksjon for store ødeleggelser, som igjen fører til sultkatastrofer og mangel på rent drikkevann. Ser man på utslippene til de ulike landene, Figur 4, ser man at de industrialiserte landene slipper ut langt mer CO<sub>2</sub> enn det man gjør i utviklingsland, det er derfor et argument i internasjonale klimaforhandlinger, at grepene for å kutte i klimautslipp for å redde miljøet, skal gjøres av nettopp disse høy-utslippslandene (FN

Sambandet, 2021). I internasjonale forhandlinger har man kommet frem til at man ønsker å kutte i utslipp, slik at gjennomsnittstemperaturen på kloden fra 1800 – tallet og frem til i dag, ikke skal øke med mer enn to grader, dette kalles for togradersmålet (Kallbekken, 2019). I senere år har man gått enda lenger, og i Paris i 2015 ble det bestemt at verdens land skal strebe etter å ikke øke gjennomsnittstemperaturen mer enn 1,5 °C, i det som blir referert til som *Parisavtalen* (United Nations, 2022). FN sin siste rapport som ble publisert i april 2022 underbygger også viktigheten med at tiltak må innføres fort, for å kunne opprettholde 1,5 graders målet fra *Parisavtalen* (United Nations, 2022).



*Figur 3 CO<sub>2</sub> utslipp siden 1960 tallet. (FN Sambandet, 2021)*

**CO<sub>2</sub>-utslipp fordelt på innbyggere (2020)**

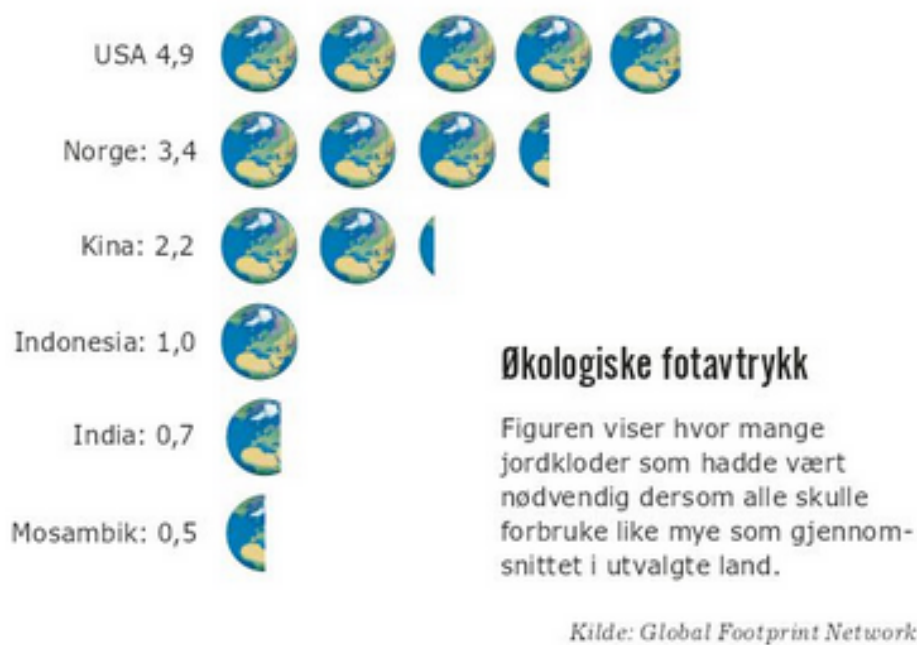


*Figur 4 CO<sub>2</sub> utslipp per innbygger i et utvalg land. (FN Sambandet, 2021)*

### 2.1.1.2 Økonomi og grønn vekst

Den neste dimensjonen omhandler økonomi og økonomisk trygghet for mennesker og samfunn i verden. Ved å arbeide for økonomisk vekst i utviklingsland, vil man utjevne økonomiske forskjeller, øke utdannelsesnivået og fjerne fattigdom. Økonomiske forskjeller kan være kilden til konflikt og føre til dårligere samarbeid, som igjen kan gjøre det vanskelig om å trekke i en felles retning for å oppnå et bærekraftig samfunn. Økonomi omhandler ikke kun tilgang på penger, men også tilstrekkelig tilgang til ulike ressurser som mat, råvarer og rent vann. Det økonomiske aspektet av bærekraftig utvikling omhandler gjerne om hvordan vi disponerer de tilgjengelige ressursene på en langsiktig måte, slik at de ikke blir brukt opp med en gang, og ikke kan tas i bruk av senere generasjoner (FN Sambandet, 2021).

Slik forbruket i mange land er akkurat nå, kan man se av Figur 5, at det tilsvarer mye mer enn det jordkloden egentlig kan levere. Når man beregner det økologiske fotavtrykket, ser man på hvor stor virkning våre aktiviteter har på kloden. Man studerer blant annet arealbruk, uttak av naturressurser og utslipp av forurensing, for å få et nummer på hvilken påvirkning hver enkelt av oss har på jordkloden (Hofstad, Andersen, & Halleraker, 2021)



Figur 5 Økologisk fotavtrykk i ulike land i verden. (Dahle, Haraldsen, & Ryssevik, 2020)

Ser man blant annet på det økologiske fotavtrykket i Norge, som tilsvarer et forbruk per innbygger som tilsvarer 3,4 jordkloder i dag, kan man si at forbruket ikke er bærekraftig i lengden.

### 2.1.1.3 Sosiale forhold

Den siste dimensjonen innenfor bærekraftig utvikling er det sosiale aspektet av bærekraftig utvikling. Med utgangspunkt i menneskerettighetene, blir sosiale forhold som utdanning, anstendig arbeid, tilstrekkelig helsetilbud, likestilling og kulturelt mangfold sett på som viktige faktorer i arbeidet med bærekraftig utvikling (FN Sambandet, 2021). Studier i demografi viser at fattige land, med lavt utdanningsnivå har en høyere fødsels- og dødsrate enn industrialiserte land (Tønnesen, Demografisk overgang, 2022). Klarer man å bekjempe fattigdom, og øke utdannelses nivået, både blant menn og kvinner i utviklingsland, vil man få en mer kontrollert befolkningsvekst, da utdannede kvinner med egen utdanning får færre barn, noe som vil gjøre det lettere å opprettholde en bærekraftig fordeling av ressursene (FN Sambandet, 2021).

### 2.1.2 FNs Bærekraftsmål

Innenfor de tre dimensjonene for bærekraftig utvikling finner vi flere mindre, konkrete delmål, kalt FNs bærekraftsmål, se Figur 6. Da vi lever i et internasjonalt og globalisert samfunn, er internasjonalt samarbeid avgjørende for å lykkes med arbeidet mot en bærekraftig verden, og her er FN en nøkkelaktør. FN bærekraftsmål er mange konkrete mål på ulike områder innenfor bærekraftig utviklings tre dimensjoner. Målene ble vedtatt i 2015 og skal arbeide for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringer innen 2030 (FN sambandet, 2021).



Figur 6 Oversikt over FNs bærekraftsmål som ble vedtatt i 2015 (FN sambandet, 2021)



Målene er delt inn i ulike satsningsområder, som er basert på alle de tre ulike dimensjonene av bærekraftig utvikling. Innenfor hver bærekraftsmål, er det formulert flere mindre delmål med ulike tidsfrister. Innen Bærekraftsmål nummer 12, som omhandler Ansvarlig forbruk og produksjon, er det 11 mindre delmål som blant annet går på å redusere matsvinn, øke gjenbruk av varer og ressurser, og forvalte og redusere utslipp av farlige kjemikalier. Sirkulær økonomi er et viktig virkemiddel for å kunne realisere disse delmålene slik at Bærekraftsmål nummer 12 kan bli innfridd på global basis (FN Sambandet, 2022).

## 2.2 Det grønne skiftet

FNs bærekraftsmål blir gjerne sett på som styrende retningslinjer om hvordan samfunnsutviklingen skal være, med sikte på et mer bærekraftig samfunn. Bærekraftsmålene er laget med tanke på alle land i verden, men ulike land har ulik tilnærming til målene. Noen land er nærmere målet enn andre. I noen land, som for eksempel Norge, har begrepet *det grønne skiftet* blitt et etablert begrep i politikk og næringsliv. Selv om *det grønne skiftet* ikke har en formell definisjon, blir det sett på som en forklaring på at vi må bevege oss bort fra dagens samfunnsmodell. Med økende utslipp og stort forbruk av ressurser, til mer klimavennlig og lavutslippsindustri og økt ressursgjenbruk og *sirkulær økonomi* (Olerud & Halleraker, 2021).

Den mest effektive måten å få gjennomført et grønt skifte, er at hver og en senker sitt eget forbruk betraktelig, og dermed sitt eget økologiske fotavtrykk. Dermed hadde behovet for ressurser og utvinning av ressurser minket betraktelig og utslippene hadde gått ned (Klepp, et al., 2018). Men hensikten med det grønne skiftet er ifølge Regjeringen i Norge å ikke kutte i folks forbruksmønster og i produksjon, men å legge om til en grønn økonomisk vekst innenfor industri og forbruk som er «innenfor naturens tålegrenser» (Klima- og miljødepartementet, 2021) Innen 2050 er målet i Norge at to tredjedeler av klimagassutslippene i industriene og husholdningene skal være kuttet (Klima- og miljødepartementet, 2021).

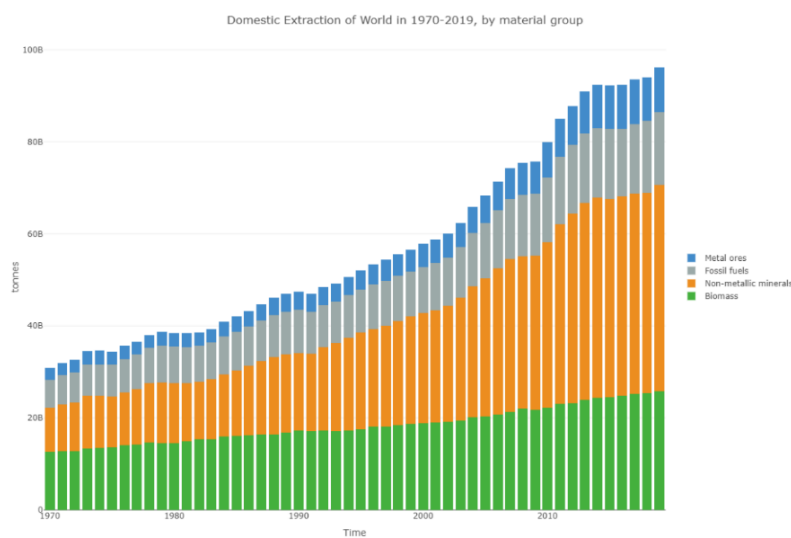
Strategien med det grønne skiftet er da ikke kutt i forbruk og ressurser, men en teknologisk og samfunnsøkonomisk omlegging, hvor utslipp og økologisk fotavtrykk minker. Et konkret eksempel på tankegang i det grønne skiftet som allerede er tredd i kraft er EU-forbudet om artikler laget av engangsplast. Tanken bak forbudet om å forby artikler som engangsbestikk og sugerør, var å minke utslippene av mikroplast i havet, for å hindre forurensing og skade på levende organismer. Forbudet gjorde ikke at det ble slutt på engangsbestikk, men at man tok i bruk materialer som tre og papp, som er mulig å gjenbruke som en del av en sirkulær

økonomi. Snarere enn plast – engangsbestikk, som ble brukt og kastet, og ikke gjenvunnet (Miljødirektoratet, 2021).

## 2.3 Fra lineær til sirkulær økonomi

### 2.3.1 Lineær økonomi

Ressursbruken som har vært dominerende siden den industrielle revolusjonen er en *lineær økonomisk* tankegang, enkelt forklart; «bruk – og kast økonomi». Ressursene blir utvunnet og foredlet før de går ut til forbruker, forbruker bruker så ressursen, før det blir brukt opp eller kastet (de Wit, Haigh, von Daniels, & Christiansen, 2020). Ressursene blir tatt inn i verdikjeden og så ført ut igjen når de har tjent sin hensikt ved at de blir deponert, går til forbrenning eller blir kastet ut i naturen (Boye E. , 2019). Planeten vår er et lukket system, med en gitt mengde ressurser som er fordelt rundt på kloden, når ressursene er brukt opp, blir det ikke erstattet med nye, da er det tomt. Ifølge en rapport fra Deloitte gjennomført på oppdrag av den norske regjering har uttaket av naturressurser fra 1970 og frem til i dag hatt en tredobbelt økning, og det fortsetter å øke, se Figur 7 (Deloitte, 2020). Den økte befolkningmengden på jorden, har ført til et økt behov for ressurser kombinert med at den enkeltes forbruk har økt, slik at vi bruker opp det jorden kan forsyne oss årlig med, tidligere og tidligere. Forbruket vårt tilsvarende en jordklodes ressurser blir hvert år markert med «Verdens overforbruk dag», *Earth Overshoot Day*, i 2019 ble denne markert 29. juli, skulle det vært en egen markering for Norge, ville denne dagen havnet på 18. april i Norge (Trodal & Hass, 2020). Fortsetter overforbruket i samme takt fremover vil flere av verdens ressurser være brukt opp i nær fremtid.

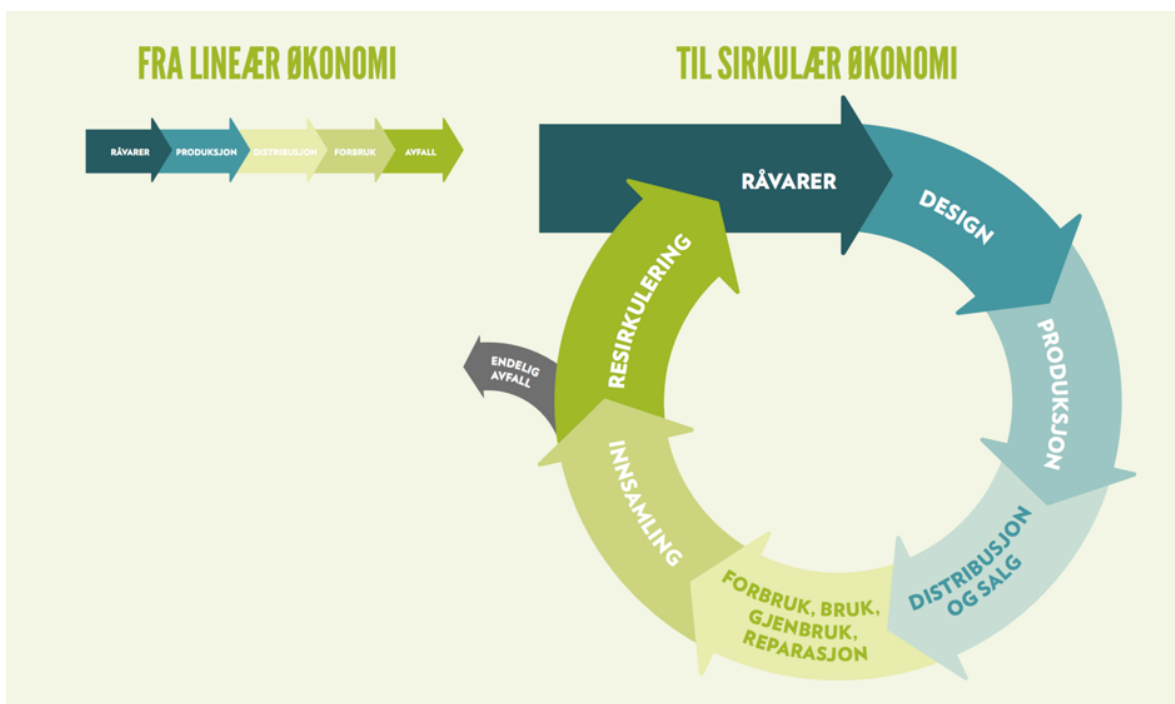


**Figur 7** Oversikt over verdens uttak av naturressurser fra 1970-2019, sortert på materialgruppene: Metaller, Fossile brensler, Ikke-metalliske mineraler og biomasse (Materialflows.net, 2022)

### 2.3.2 Hva er sirkulær økonomi

FNs Bærekraftsmål nummer 12 omhandler forbruk og produksjon i verden. Målet handler om å ha et Ansvarlig forbruk og produksjon av varer og tjenester. Man skal søke å oppnå en økonomisk vekst med bruk av mindre ressurser, og et av de viktigste tiltakene for å oppnå dette, er overgangen fra *lineær økonomi* til *sirkulærøkonomi*. Blant annet sier delmål 12.5 at man «innen 2030 skal betydelig redusere avfallsmengden gjennom forbud, reduksjon, gjenvinning og ombruk» (United Nations Global Compact, 2022)

Sirkulærøkonomi baserer seg i motsetning til lineærøkonomien, å beholde ressursene i verdikjeden, og gjenbruke dem flere ganger, se Figur 8, hvor forskjellen på Lineær økonomi og Sirkulær økonomi er illustrert.



**Figur 8** Sirkulærøkonomi baserer seg på å bruke råvarene om igjen og om igjen flere ganger ved hjelp av resirkulering og gjenbruk (Adam, Bücker, Desguin, Madsen Vaage, & Saebi, 2017).

I den sirkulæreøkonomien ønsker man da å gjenbruke og maksimere gjenbruken av ressurser flere ganger, istedenfor å hele tiden føre nye ressurser inn og ut av verdikjeden. Delottes rapport oppsummerer sirkulær økonomi på følgende måte: «I den sirkulæreøkonomien skal all ressursutvinning minimeres og skje på en måte som sikrer lik tilgang på ressurser og økosystemtjenester for fremtidige generasjoner. Dette gjøres gjennom en optimal utnyttelse av de ressursene man allerede har utvunnet, og ved å unngå forurensning og utslipp.» (Deloitte, 2020). Tanken bak sirkulær økonomi er ikke bare gjenbruk av ressurser flere ganger, men også samtidig redusere utslipp gjennom teknologiske nyvinninger i den nye sirkulære økonomien. Ved å ha et redusert behov for utvinning av nye ressurser som mineraler fra

gruvedrift eller fossile brensler fra olje – og gassindustrien, vil det allerede være kuttet en del av utslippene ved reduksjon av disse industriene. Det er verdt å merke seg at man også ønsker å redusere utslipp og kjemikaliebruk i industrien ved å innføre en sirkulær økonomisk modell i samfunnet (Miljødirektoratet, 2021) Bærekrafts delmål 12.4 sier at man allerede innen 2020 skal ha oppnådd en mer miljøvennlig kjemikaliebruk, og redusere utslipp av kjemikalier til blant annet luft, vann og jord for å begrense skadevirkninger for menneskers helse og miljøet rundt dem (United Nations Global Compact, 2022)

### 2.3.3 Innføring av sirkulær økonomi

Introduksjon av sirkulær økonomi som alternativ til dagens dominerende lineære økonomi vil kreve en stor omstilling i både politikk, næringsliv og hverdagsliv. Rapporten *The Circularity gap report* fra 2020, som kartla hvor sirkulær økonomien i Norge er, fastslo at den norske økonomien, kun hadde en sirkularitet på 2,4 %. Det vil si at av alle ressursene som tar veien inn i den norske økonomien, vil bare 2,4 % holdes inne i økonomien og bli solgt på ny, resten forsvinner ut (Trodal & Hass, 2020). Denne rangeringen er i den nederste enden av skalaen i forhold til flere andre land i Europa. På topp ligger blant annet Nederland, med en sirkularitet i økonomien tilsvarende 24,5 prosent. Snittet på verdensbasis ligger på omtrent 8,6 prosent (de Wit, Haigh, von Daniels, & Christiansen, 2020). Norge som politisk har vedtatt å være et foregangsland for å utvikle en god og bærekraftig sirkulær økonomi, har da en stor endring som må gjøres for å kunne oppnå dette (Regjeringen, 2019).

For å oppnå en god, sirkulær økonomi må produksjonsmetoder, design av produkter og forbruksmønster endres. I Norge brukes blant annet mye av avfallet til forbrenning og videre oppvarming, ta har man tatt ut mye av ressursene fra verdikjeden, og de kan ikke brukes igjen. Med en sirkulær tankegang resirkulerer man enda mer enn det man gjør i dag, og bruker råvarene på nytt til å lage nye produkter. Man må også utvide begrepet ressurser, og betrakte mye av det som kastes i dag, som verdifulle ressurser (Miljødirektoratet, 2019).

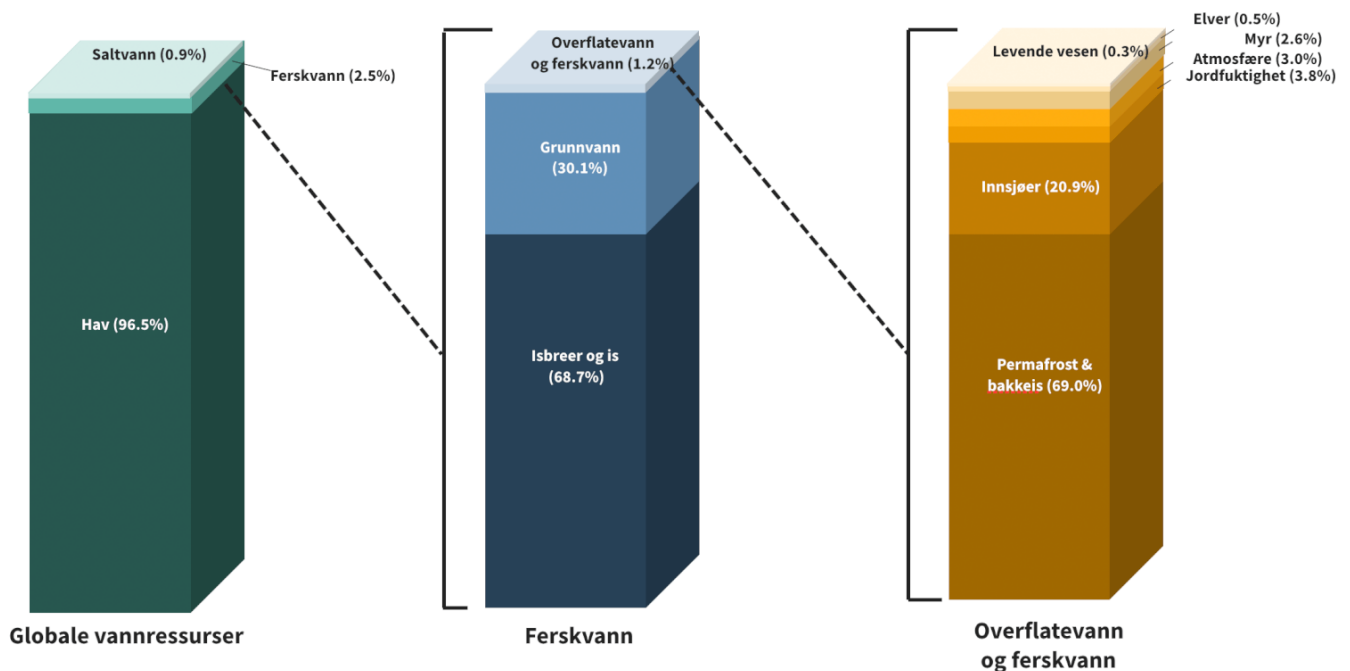
## 2.4 Vann

En viktig ressurs som får en del oppmerksomhet når det er snakk om sirkulær økonomi fra Norske fagmyndigheter og publikasjoner om sirkulær økonomi fra EU og andre europeiske land, er vann (Miljødirektoratet, 2019) (Klima- og miljødepartementet, 2020). Vann er en kompleks ressurs som både er livsnødvendig for mennesker, planter og dyr, viktig i både kraftproduksjon og industri. Men avløpsvann blir og betraktet som en viktig kilde til ressurser, da det inneholder flere viktige mineraler og næringsstoffer, som kan tas i bruk i industri og landbruk. Avløpsvannet inneholder også miljøgifter, tungmetaller og flere andre stoffer som

er uheldige å slippe ut igjen i naturen (Abdersen, Gudbrandsen, Haugstad, Hartnik, & Klif, 2012)

#### 2.4.1 Vann som ressurs

Jorden inneholder store mengder vann, omtrent 1332 milliarder m<sup>3</sup>, som dekker omtrent 70 % av jordklodens overflate (Israel, 2022). Av alt dette vannet er 97 % av det funnet i havene som saltvann, og kun 2,5 prosent er ferskvann, illustrert i Figur 9. Av det tilgjengelige ferskvannet, er nær 70 % av det, bundet i isbreer og is, det resterende vannet er grunnvann og overflatevann som er mulig å utnytte (USGS, 2022)



*Figur 9* Fordelingen av vann i verden. Nesten 97 % av vannet i verden finnes i havet som saltvann. 2,5 % er ferskvann, og av dette er nær 70 % fanget i is og isbreer (USGS, 2022)

Behovet for ferskvann i verden er stort, og er nødvendig for bruk innenfor flere områder, som blant annet industri, hvor det blir brukt til kjøling og andre prosesser, energiproduksjon, landbruk, matproduksjon og drikkevann. Vann som er et kretsløpsstoff, blir ikke brukt opp, men kan bli utilgjengelig i flere områder av verden, da flere områder med lite nedbør stort sett utnytter grunnvannsressurser, som ikke fylles opp like fort som overvannsressurser, gjør at tilgangen på vann i ulike områder av verden synker. En femtedel av verdens grunnvannsressurser er allerede utnyttet langt utover deres kapasitet. Ifølge FN vil man med dette tempoet overstige forbruket på de tilgjengelige vannressursene med over 40 % i 2030 (UNESCO World Water Assessment Programme, 2016) (FIVAS, 2022)

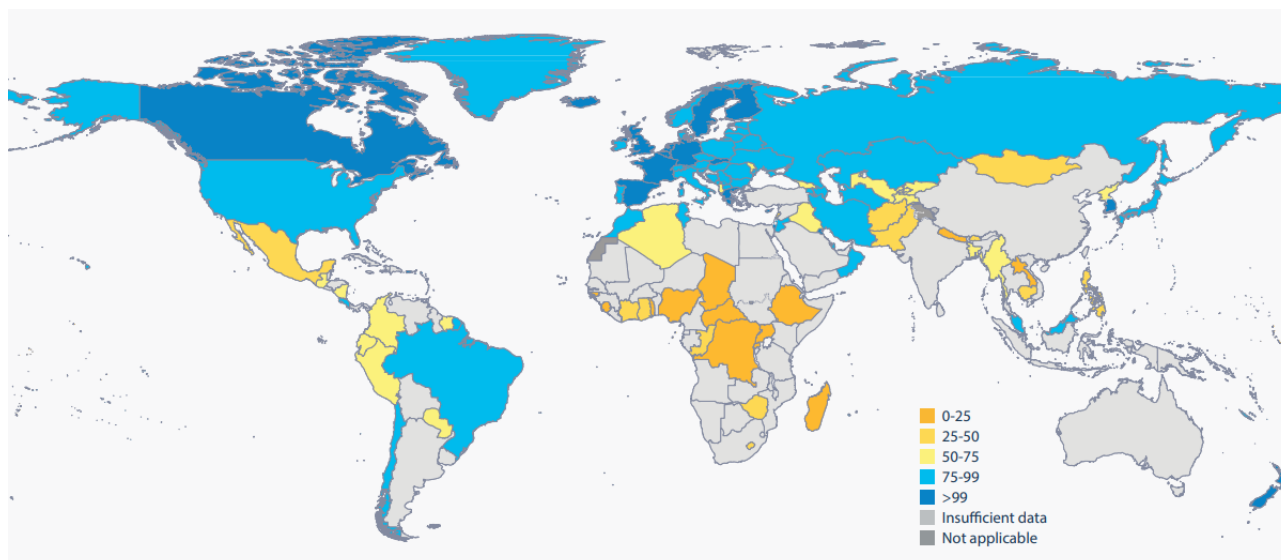
### 2.4.2 Drikkevann

Omtrent 10 % av verdens ferskvannsforbruk går til husholdninger, dette dekker behovet for drikkevann og sanitærbehov som toalettbesøk og vask

FN sitt bærekraftsmål nummer 6 sier at man skal sikre rent drikkevann og gode sanitærforhold for alle i verden innen 2030 (FN sambandet, 2021). Så mye som 80 % av all sykdom i utviklingsland, kan skyldes usikre drikkevannskilder og dårlige sanitærforhold (Pandit & Kumar, 2012). I dag har omtrent en firedel av verdens befolkning ikke tilgang på rent drikkevann, gjerne av ulike grunner som manglende infrastruktur og tilgang på gode drikkevannskilder. Klimaendringer som oversvømmelser og tørke er også bidragsyttere som fører til at flere av verdens drikkevannskilder blir utilgjengelige eller forurenset (FN, 2022). Det stilles gjerne noen krav til hva som er rent drikkevann, det bør ikke inneholde sykdomsfremkallende mikroorganismer, tungmetaller eller giftige kjemikalier. Vannet bør heller ikke ha partikler eller organiske forbindelser som gir lukt og smak (WHO, 2017).

I en oversikt fra FN, som vist på Figur 10, kan man se en oversikt over hvor stor del av befolkningen som har tilgang på trygt behandlet drikkevann. Store deler av kartet mangler data, mye grunnet manglende vann – infrastruktur i noen av disse landene. (United Nations - UN Water, 2021).

Det økte behovet for drikkevann, med en voksende befolkning i verden, samt press på de eksisterende drikkevannskildene, har ført til at man ser etter andre kilder for å hente ut rent drikkevann. I flere steder i verden blir avløpsvann brukt som en kilde til å supplere drikkevannskildene. I Singapore gjenbraker man vann fra avløpsrensing, som drikkevann, etter en nøye gjennomført renseprosess for å tilfredsstille WHO sine krav til rent drikkevann. Omtrent 40 % av drikkevannet i Singapore stammer i dag fra avløpsvann (Lim, 2022) (Mathisen, 2022)



*Figur 10* Oversikt over andel i befolkning i verdens land som har tilgang på trygt behandlet drikkevann (United Nations - UN Water, 2021)

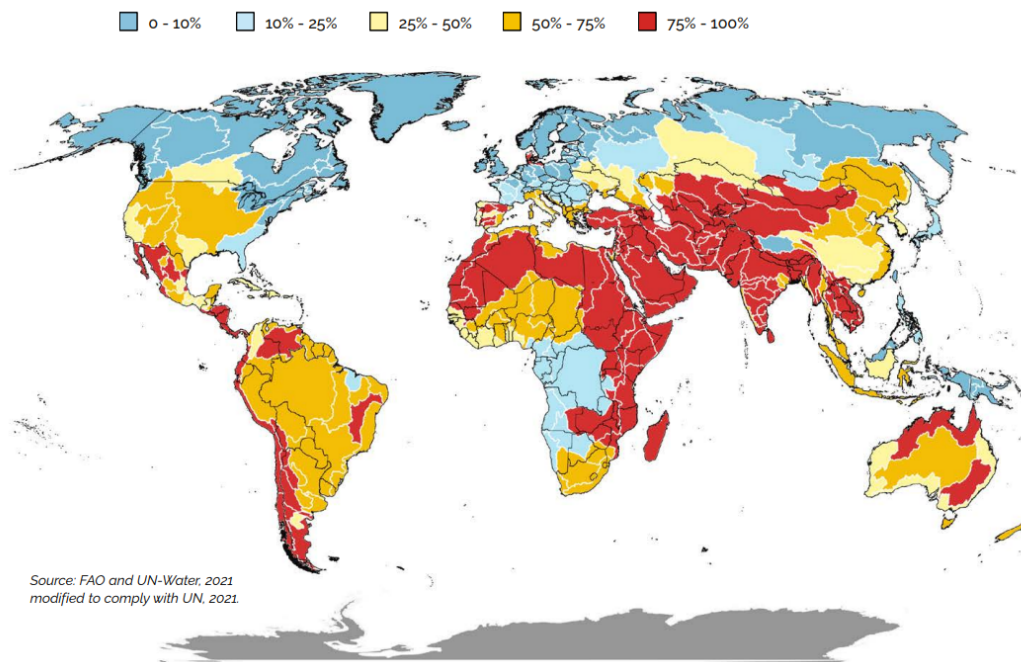
### 2.4.3 Vannforbruk i industri

Ved å se på ferskvannsforbruket fra et globalt perspektiv, ser man at kun 10 % av dette brukes som drikkevann, de resterende 90 % fordeler seg stort sett på industri og landbruk, hvor industrien står for omtrent 21 % av forbruket. I industrien brukes vann stort sett til kjøling av elektriske komponenter og andre industrielle prosesser som er avhengige av vann uten forurensninger eller salter, som kan skade eller slite på ulike komponenter. Et eksempel på vannkonsumerende industri er klesindustrien. Et enkelt par med jeans trenger omtrent 3500 L med rent vann for å bli produsert, i løpet av et år bruker industrien omtrent 93 milliarder m<sup>3</sup> til produksjonen av klær, dette er samme mengden som fem millioner mennesker trenger for å få dekket sitt behov for rent vann (UN News, 2022).

### 2.4.4 Vannforbruk landbruket

Den desidert største forbrukeren av vann i verden er landbruket, omtrent 69 % av alt tilgjengelig ferskvann går til landbruket, hvor store deler går til vanning, men også til produksjon av kjøtt (FAO, 2021). Hele 98 % av verdens matvareforbruk stammer fra landbruket, noe som gjør det til en livsnødvendig del av våre liv. Grunnet befolkningsveksten, anslår FN at landbruket innen 2050 må øke sin produksjon med over 50 % fra 2012, for å kunne opprettholde bærekraftsmål nummer 2, om å utrydde sult i verden innen 2030 (FAO, 2021). Avlinger til både matproduksjon og forproduksjon krever vanning, men behovet for vanning varierer veldig utfra geografi og klima. Figur 11 viser hvor stor andel av tilgjengelig vann som blir forbrukt i landbruket i verden. Ofte er landene som har lav tilgang på rent drikkevann, som vist i Figur 10, ofte de landene som også må bruke store deler av sine

vannreserver på vanning til landbruket. Noe som begrenser tilgangen på drikkevann, når man også trenger vannet til matproduksjon (FAO, 2021).



**Figur 11** Oversikt over mengden vann landbruket har behov for i forhold til landets tilgjengelige ferskvannsressurser (FAO, 2021)

Klima spiller også en viktig rolle i landbrukets behov for vanning. Land med varmt og tørt klima, trenger mer tilførsel av vann til avlinger, enn vann med mildere klima og mer nedbør. Når vann fordamper, er det følgelig ikke tilgjengelig for planter å ta opp gjennom rotsystemet, for å hindre at plantene ikke tar opp vann, vanner man gjerne med et høyere volum enn det som er nødvendig, slik man er sikker på at plantene får dekket sitt vannbehov (FAO, 2021). Slik overvanning har flere konsekvenser enn kun å bruke opp vann, for mye vanning eller mye nedbør fører ofte til erosjon. Da ledes gjerne mye av næringsstoffene i jorden ut av jordsmonnet og blir overført til bekker og vassdrag, og kan igjen forurense drikkevannskilder, eller ødelegge allerede sårbar jordbruksjord, og føre til at man må tilføre jorden mer næringsstoffer (Bechmann, et al., 200). Innenfor landbruket er potensialet stort for å vanne på en mer effektiv måte for å redusere overvanning, ved hjelp av såkalte mikrovanningssystemer (EPA , 2022)

#### 2.4.5 Ressurser i vannet

I rent drikkevann skal det være minimalt med mineraler og mikroorganismer, og inneholder dermed ikke i utgangspunktet nyttige ressurser utenom vannets egenverdi. Derimot når dette rensede vannet har vært gjennom en levende organisme eller industri og blir sluppet ut igjen, har vannet fått tilført store mengder med mineraler, karbonforbindelser, salter og andre

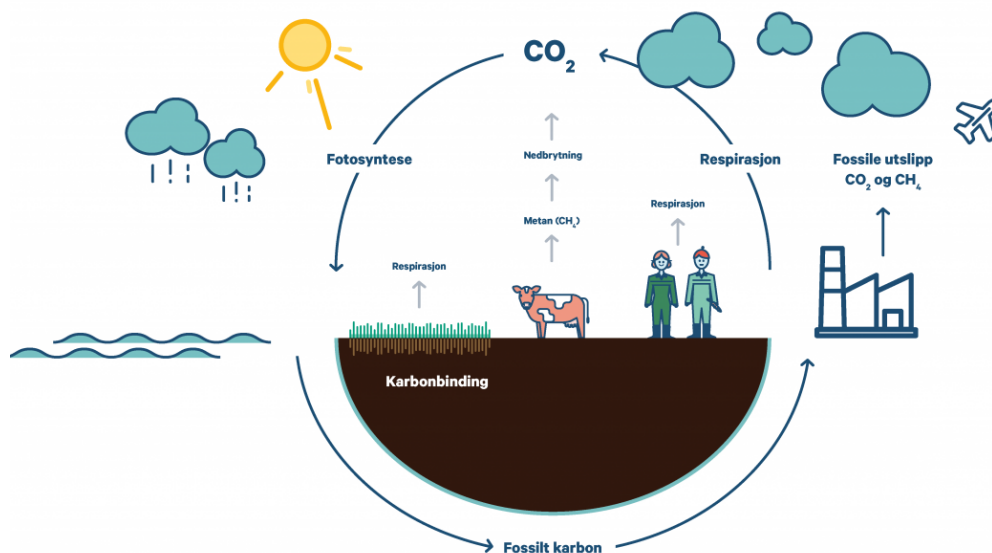


forbindelser, som gjør vannet om til en bærer av ulike ressurser. Vannet blir så sluppet ut som avløpsvann, som er rikt på flere ulike ressurser.

I Norge deles avløpsvann i to kategorier, svartvann og gråvann. Gråvann stammer fra vaskemaskiner, dusj osv. Gråvann inneholder liten grad av næringsstoffer og mikroorganismer, og er forholdsvis lett å rense til at det oppnår en renhet som er god nok til å slippes ut i naturen igjen (NIBIO - Norsk institutt for bioøkonomi, 2022)

Svartvann er avløpsvannet som stammer fra vannklosett som da kan inneholde urin og annen avføring (Lovdata, 2022). Avføringen som er blandet sammen med dette vannet, inneholder ofte mange næringsstoffer og andre ressurser som er tilført til mennesker og dyr gjennom mat. Svartvann vil da inneholde makronæringsstoffer som fosfor- og nitrogenforbindelser. Ulike organiske forbindelser som kan resirkuleres, mikronæringsstoffer som jern (Fe), kobber (Cu), kobolt (Co), sink (Zn) og selen (Norsk vann, 2022). Mye av avløpet inneholder også avføring som er rikt på karbonforbindelser og bakterier. Det er mulig å hente ut karbonforbindelser og produsere biogass, som kan brukes til oppvarming og drivstoff (Boye N. C., 2013).

Biogass fra avløpsvann blir betraktet som klimanøytralt, da det stammer fra blant annet planteforbindelser som tar opp CO<sub>2</sub> som en del av fotosyntesen, og blir da en naturlig del av karbonets kretsløp, som vist på Figur 12.



**Figur 12** Illustrasjon av karbonets kretsløp. CO<sub>2</sub> som blir sluppet ut fra forbrenning av biogass i industri og transport, blir gjerne sett på som karbonnøytral. (Landbruk.no, 2019)

Avløpsvann inneholder ikke bare nyttige ressurser, som vi kan føre tilbake til verdikjeden, det inneholder også stoffer som miljøgifter, tungmetaller, medisinerester og andre kjemikalier som

Perfluorert oktansyre (PFOA), som er uheldig å slippe ut i naturen. Det er derfor nødvendig med en omfattende rensing av avløpsvannet, hvor vi skiller mellom de ressursene vi ønsker videre i verdikjeden, og de som må ut av verdikjeden for å kunne opprettholde en bærekraftig utvikling (Klima- og forurensingsdirektoratet, 2012).

Det ligger dermed store muligheter for sirkulær økonomi i rensing av avløpsvann. Ved lineær økonomi, ville avfallet etter vannrensing blitt deponert, men med en sirkulær økonomisk tankegang, vil man heller arbeide for å utnytte disse ressursene. I Norge i dag er denne tankegangen allerede forholdsvis utbredt. Slam etter avløpsrensing blir utnyttet til produksjon av biogass av IVAR IKS i Rogaland. (IVAR IKS, 2022). Ved VEAS i Oslo og Viken utvinnes Nitrogen som ammoniumnitrat som gjenbrukes i gjødsel (Nilsen, 2014). I Hedmark ved HIAS utvinnes det fosfor fra avløpsvannet, som igjen utvinnes til struvitt, som blir brukt som gjødsel i landbruket (Glestad, Gjenvinning av fosfor som struvitt ved Hias renseanlegg, 2014). Alle disse eksemplene er tegn på at den sirkulære tankegangen allerede er noe implementert i Norsk avløpsbransje, og som fortsatt er i utvikling for å bli enda mer effektiv (Norsk vann, 2022). Blant annet utvinningen av nitrogen og fosfor er viktig, da dette er ressurser som er viktige for landbruk og planteliv, og som det er begrenset tilgang på i verden.

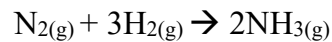
#### 2.4.5.1 Nitrogen

Nitrogen utgjør omtrent 78,08 volumprosent av luften i atmosfæren, og er dermed det dominerende stoffet i atmosfæren. Nitrogen (N) har en avgjørende rolle i proteinsyntesen i planter og dyr, da det trengs for å danne aminosyrer, samt i oppbygningen av DNA molekyler (Kofstad & Pedersen, 2022). Planter klarer ikke å ta opp N i gassform, men tar det opp fra mineralske forbindelser fra jordsmonnet. N blir vanligvis tatt i planter ved at de lever i symbiose med nitrogenfikserende bakterier i slekten *Rhizobium*, som tar opp N og overfører det til planten (Sirevåg, 2022). I landbruket er det stort behov for å tilføre jordsmonnet nok N for å få tilstrekkelig plantevekst, og blir ofte sett på som en viktig faktor i mineralisk gjødsel som blir tilført landbruksjord. N finnes i gjødsel i ulike former, blant annet som ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ), ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) og kalsiumammoniumnitrat, i Norge og Europa er kalsiumammoniumnitrat mye brukt (Bjørnå, nitrogengjødsel, 2022).

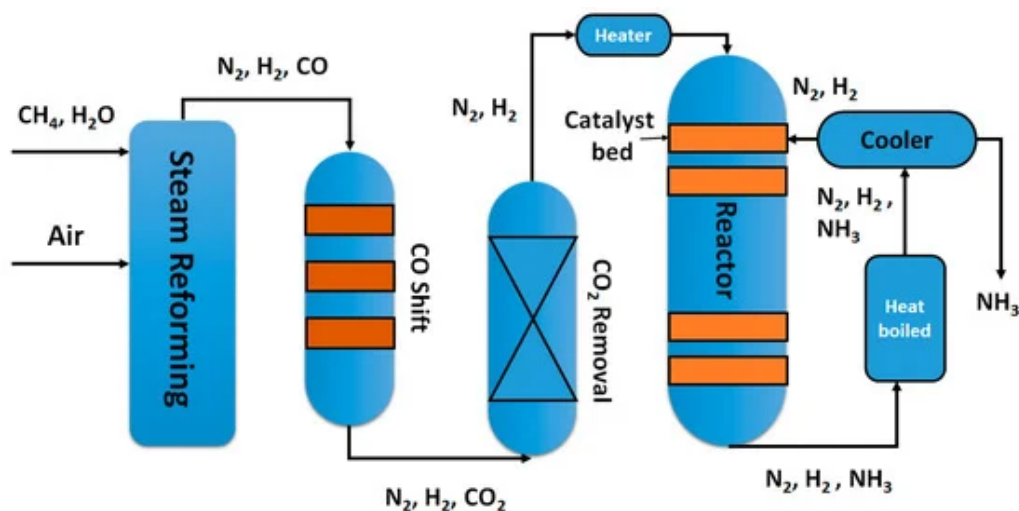
#### 2.4.5.1 Haber – Bosch prosessen

Den vanligste måten i verden i dag å gjøre nitrogen fra atmosfæren plantetilgjengelig er gjennom Haber-Bosch prosessen, illustrert i Figur 13. Hvor nitrogengass ( $\text{N}_2$ ) og hydrogengass ( $\text{H}_2$ ) sirkulerer under høy temperatur ( $500^\circ\text{C}$ ) og høyt trykk (275 atm),

prosessen skjer ved en katalysator bestående av jern og aluminiumoksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Grønnberg, Hannisdal, Pedersen, & Ringnes, 2012). Haber – Bosch prosessen reagerer 1 mol med  $\text{N}_2$  sammen med 3 mol  $\text{H}_2$ , og danner 2 mol  $\text{NH}_3$  i gassform, i følgende reaksjon:



I følge LeChâtelier – prinsippet vil denne reaksjonen danne mest produkt ved å foregå ved så lav temperatur som mulig, dette vil derimot gå så sent, at det ikke vil være lønnsomt i industrien. Prosessen tilføres da heller store mengder energi, og det er antatt at i løpet av et år, legger ammoniakkproduksjon alene beslag på 1-2 % av verdens energiproduksjon. Dette fører også til et stort utslipp av  $\text{CO}_2$ , da energiproduksjon i verden er mye basert på forbrenning av fossile brensler som olje, kull og gass. I 2010 stod produksjonen av ammoniakk for et utslipp på omtrent 451 millioner tonn  $\text{CO}_2$ , noe som gjør Haber – Bosch prosessen til den enkeltstående kjemiske reaksjonen som står for mest  $\text{CO}_2$  utslipp i verden (Boerner, 2019). Produksjonen har også vært økende siden den ble tatt i bruk, da verdens befolkning har økt, og dermed behovet for mat, og kunstgjødsel behovet har da blitt enda større med befolkningsveksten.



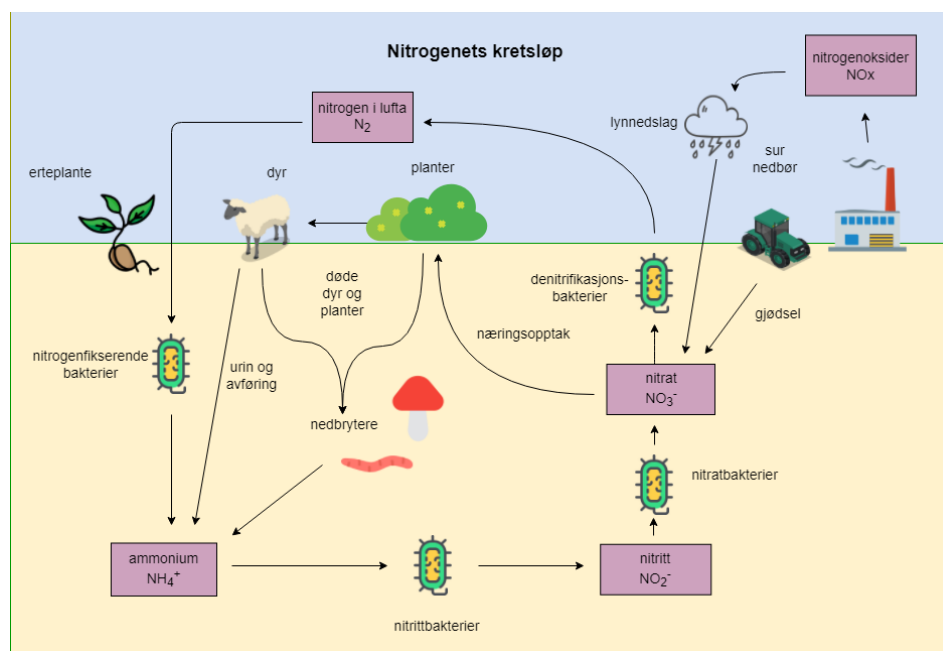
Figur 13 Flytskjema av Haber-Bosch prosessen, hvor luft blir reagert med metan og vanndamp i dannelsen av ammoniakk,  $\text{NH}_3$ . (Vu, Do, & Mohan, 2018)

#### 2.4.5.2 Nitrogen og sirkulær økonomi

N er sammen med fosfor (P) en av de største grunnene til økt algevekst i vann. Områder med mye landbruk er ofte plaget med store algevekstforekomster i vann og vannområder som ligger i nær tilknytning til landbruk, mye av avrenningene fra landbruk havner også i vannrenseanleggene (Barlindhaug, 2022). Mesteparten av nitrogenet som finnes i avløpsvann,

er i ammoniumforbindelser ( $\text{NH}_4$ ), som er viktige komponenter i kunstgjødsel (Bjørnå, nitrogengjødsel, 2022).

Samtidig blir mye av N som er bundet i kunstgjødsel, sluppet ut igjen i naturen, og tatt opp i nitrogenkretsløpet og igjen bli planteutligjengelig ved at det blir omgjort til gassform i atmosfæren, slik som illustrert i Figur 14, som viser at nitrogenkretsløpet gjør at det er N tilstede i atmosfæren, litosfæren og hydrosfæren, og gjør det igjen tilgjengelig for de nitrogenfikserende bakteriene å ta opp atmosfærisk N, og la det bli tatt opp i planten (Aarnes, Nitrogensyklus, 2022). Ved å rense avløpsvann for nitrogenforbindelser, kan man da gjenbruke disse i kunstgjødsel igjen, slik det gjøres ved VEAS anlegget i Oslo og Viken (Nilsen, 2014). Ved å implementere en slik rensing som en generell del av avløpsrensingen, og gjenbruke de som gjødsel igjen, vil man da kunne ha mulighet til å redusere produksjonen av ammoniakk, og dermed potensielt redusere verdens  $\text{CO}_2$  utslipp betraktelig.



Figur 14 Illustrasjon av nitrogenets kretslop. (Bedin, 2022)

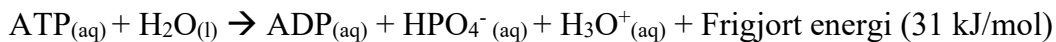
## 2.5 Fosfor og fosformangel

P er en ikke fornybar ressurs som i denne oppgaven blir brukt som et konkret eksempel for å illustrere sirkulær økonomi og behovet for dette.

### 2.5.1 Fosfor som næringsstoff for mennesker

P er et svært viktig næringsstoff for både planter og dyr. P spiller en avgjørende rolle i en viktig rolle for flere prosesser i celler. DNA molekylet til levende organismer består av P bundet i et fosfatmolekyl  $\text{PO}_4^{3-}$ . Cellemembranene til både dyre – og planteceller er bygget

opp av fosfolipider, som er fettsyrer med et hydrofilt hode bestående av glyserol og fosfat (Hauge, 2022). Fosfor er også et sentralt stoff i stoffskiftet i planter og dyr, da det er en av hovedkomponentene i *adenosintrifosfat* (ATP), som er en essensiell energibærer i alle celler og vev, ved at det frigjør energi til cellens metabolisme (stoffskifte) ved å spalte av et fosfat i følgende reaksjon:



ADP (*adenosindifosfat*) som så dannes etter et fosfat er spaltet av, kan så igjen bli regenerert til et ATP, noe som krever at det jevnlig tilføres fosfat som næring til cellene (Kierulf & Pedersen, 2022). En menneskekropp på 75 kg inneholder omtrent 40 gram ATP, i løpet av et døgn spaltes og gjenopprettes hvert ATP-molekyl 2500 ganger. Dette tilsvarer at det bygges omtrent 100 kg ATP, som tilsvarer en god del mer en kroppsvekt (Kierulf & Pedersen, 2022). Fosfor utgjør en viktig del av menneskekroppen, og en menneskekropp inneholder omtrent 700-900 gram P, hvor 85 % av dette er lokalisert i knokler og tenner, som kalsiumfosfat ( $\text{CaHPO}_4$ ), resten ligger i muskler, hjerne og nerveceller, som blant annet ATP, og for å opprettholde homeostase i kroppen kreves en daglig tilførsel av fosforforbindelser på 600-750 mg (Kofstad & Pedersen, 2022). P får mennesker tilført via kosten fra matvarer som kjøtt, belgfrukter og meieriprodukter (Opplysningskontoret for Meieriprodukter, 2022). Disse matvarene får igjen tilført P fra planter, som igjen har tatt dette opp fra jordsmonnet.

### 2.5.2 Fosfor som næringsstoff for planter

P er for planter som for dyr et essensielt makronæringsstoff, for å kunne drive flere livsviktige prosesser i planten. Blant annet fotosyntesen trenger store mengder ATP som energibærer, mangel på P i planter vil blant annet føre til redusert kapasitet til å danne glukose og oksygen og opptak av  $\text{CO}_2$  som vist i reaksjonen under:



Planter tar opp fosfor fra jordsmonnet, som ofte er bundet i mineralske forbindelser som Ca, Fe eller aluminium (Al). Tilgjengeligheten for planter for å få tilgang til disse forbindelsene avhenger av løselighet, pH og jordsmonnsammensetning. Tilgangen på P i et økosystem kan være den begrensende faktoren på hvordan plantelivet i det området vil være, P som ikke er tilgjengelig for opptak i planter, kalles for *planteutilgjengelig fosfor*. P som kan tas opp i planten kalles for *plantetilgjengelig fosfor* (Tiessen, 2008). Når planter skal ta opp P i cellene, gjøres det i fosfatform. I bakken er det gjerne en del organisk  $\text{HPO}_4^{-}$  som stammer fra proteiner og døde organismer, men planter trenger uorganisk fosfat for å kunne ta det opp

(White & Hammond, 2008). Plantetilgjengelig P varierer også med pH-verdien i jordsmonnet. P bundet til Ca er mest tilgjengelig for planten når jordsmonnet har lav pH, og for P bundet til Fe/Al øker P tilgjengeligheten med økende pH – verdi (NIBIO, 2022).

#### 2.5.2.1 Kunstgjødsel

Manglende tilgang på P i jordsmonnet eller utilgjengelig P grunnet pH i jordsmonnet korrigeres ofte i landbruket ved bruk av kunstgjødsel. Gjødsel som er brukt i landbruket i dag inneholder gjerne de tre mineralene N, P og K, og går under navnet NPK-gjødsel eller mineralgjødsel. Sammensetningen av næringsstoffene i gjødselen kan variere ut ifra hvilket behov som trengs for det enkelte landbruksområdet (Bjørnå, flersidig gjødsel, 2022).

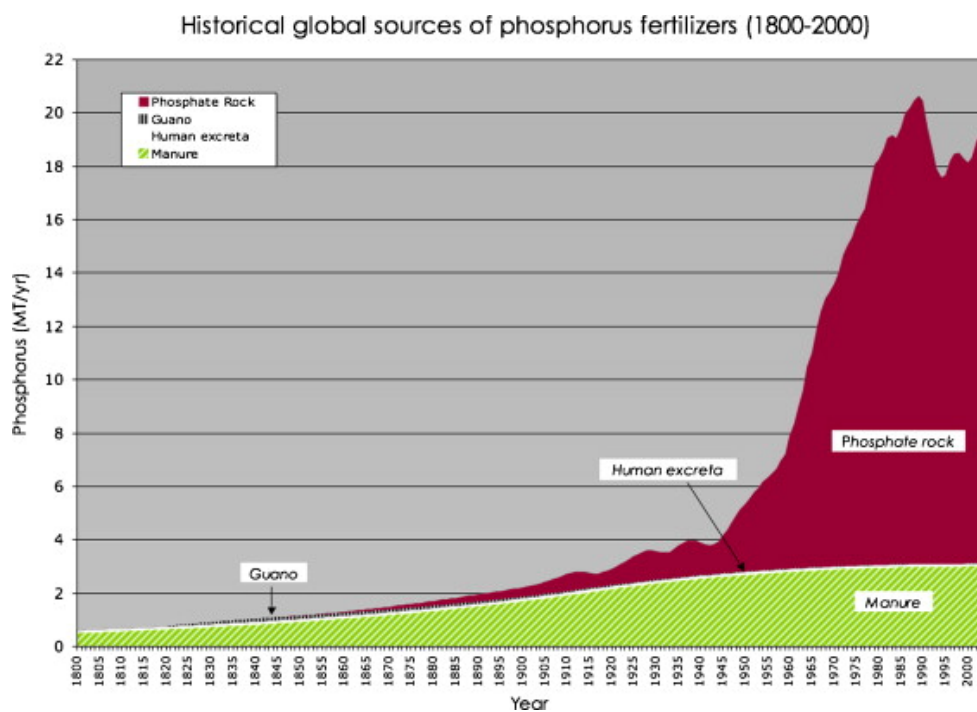
Et stort problem knyttet til landbruk og tilførsel av kunstgjødsel er overgjødsling og avrenninger til sjø og kyst. Man tilfører store mengder med gjødsel, og en del av dette blir ikke tatt opp i jordsmonnet, men blir skylt med regnvann ut i nærliggende bekker, vann og avløp. Utslipp av spesielt P og N til sjø, kyst og vann fører ofte til eutrofiering, som da vil føre til algeoppblomstring i overflatevannet. Disse algene vil da ta opp store deler av oksygenet i vannet, og utkonkurrere livet i vannet (Kjensmo & Hongve, 2022)

Ifølge Miljødirektoratet i Norge, ligger det årlige utslippet av P ut i kystområdene i Norge, på omtrent 14 000 tonn i året i 2019. Dette er en økning på nærmere 175 % siden 1990 tallet. Mesteparten av fosfortilførselen stammer fra akvakultur, men omtrent 800 tonn stammer fra jordbruket og 1250 tonn fra kommunalt avløpsvann (Miljødirektoratet, 2022). I 2010 var tilførselen av fosfor til Norsk landbruk på om lag 24 000 tonn. Av dette blir en del tatt opp av landbruksjorda, noe blir tatt opp av planter. Omtrent 14 000 tonn av dette blir tatt opp gjennom avlinger, de 10 000 tonnene som er til overs blir igjen på jordet, hvor i underkant av 10 % forsvinner ut i vassdragene (Schärer, 2022)

#### 2.5.3 Tilgang på fosfor

P er det 11. vanligste elementet som finnes på jorden. Store deler av fosforet er bundet i jordsmonn og mineraler, med en vanlig konsentrasjon på mellom 200 og 800 mg kg<sup>-1</sup>, hvor konsentrasjonen varierer utfra hvor gammelt jordsmonnet er, yngre jordsmonn har høyere konsentrasjon enn eldre (Tiessen, 2008). P i mineraler er ofte bundet til Ca eller Mg, men også Al og Fe (Tiessen, 2008). Mineralsk P er mer tilgjengelig enn biologisk bundet P, men plantetilgjengeligheten til mineralsk P avhenger av hvilket metall fosfor er bundet til. P bundet til Ca, i kalsiumfosfat (CaHPO<sub>4</sub>) er mer plantetilgjengelig enn fosfor bundet i aluminiumfosfat (AlPO<sub>4</sub>) og jernfosfat (FePO<sub>4</sub>). Selv om man finner P i jordsmonnet i store deler i verden, er det begrenset hvor mye dette er og hvor tilgjengelig det er for landbruket

(Tiessen, 2008). Ofte må det tilføres store mengder P som gjødsel for at det skal være nok tilgjengelig for plantene. Det trengs omtrent ett tonn med P for hvert 130 tonn med korn (Pearce, 2022). Tidligere var de vanligste fosforkildene til landbruket organisk avfall fra dyr og planter (Manure), som ble brukt som gjødsel. Guano er en annen kilde som blir brukt mye i Sør – Amerikanske land, dette er oppsamlet avføring fra sjøfugl og dyr, da det inneholder store mengder N og P. Samt noe bruk av menneskelig avføring er tidligere brukt, etter hvert som behovet for P i landbruket øker, har også behovet for andre mineralske kilder økt, slik som illustrert i Figur 15 (Cordell, Drangert, & White, 2009)

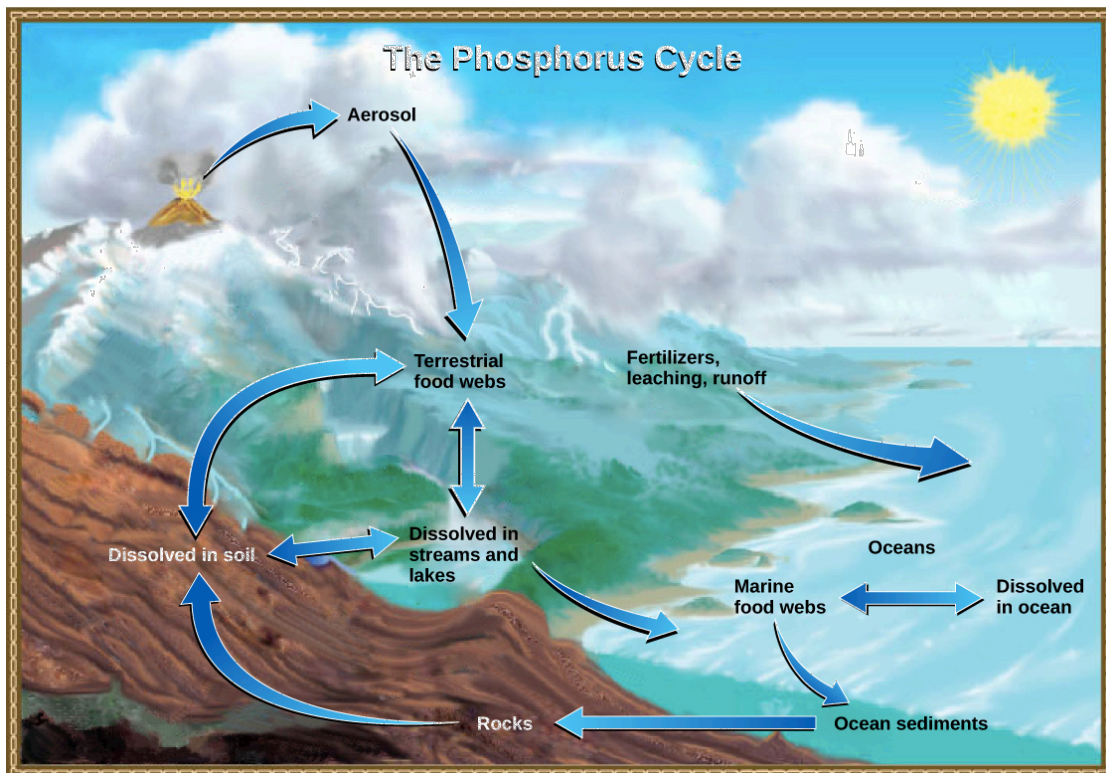


**Figur 15** Illustrasjon av hvilke kilder som er vanlig for utvinning av fosfor til landbruket, Figuren viser antall Mt brukt hvert år (Cordell, Drangert, & White, 2009)

Grunnet det store forbruket, blir det årlig utvunnet omtrent 170 millioner tonn, som blir distribuert rundt i verden. Ifølge Figur 7, er uttaket av ikke mineralske ressurser, slik som P økende. Mesteparten av dagens P blir utvunnet i gruvedrift fra områder i Marokko og Vest – Sahara, samt områder i Kina, Canada, Kolahalvøya og Florida. Områdene i Marokko og Vest – Sahara har omtrent 80 prosent av P som er lønnsomt å utvinne i dag, resten er fordelt på Kina, noen områder i USA og eller i verden (Pearce, 2022).

Der hvor grunnstoffer som C og N går i kretsløp inn i atmosfæren, og kan bli tatt opp av organismer gjennom atmosfæren, er situasjonen annerledes for P. Fosforkretsløpet involverer stort sett litosfæren og hydrosfæren, P i gassform eller aerosolform forekommer svært sjelden. Dette fører til at den geologiske syklusen til P er betraktelig mye lengre enn tilfellet for stoffer

som N og C (Turner & Raboy, 2022). Ifølge Figur 16, ender P opp i havet som sedimenter og videre som sedimentære bergarter, det vil si at etter det er brukt, tar det mange millioner år før det er inne i syklusen hvor landplanter kan ta det opp (Fowler, Roush, & Wise, 2013). Dette er en problemstilling som begynner å bli bekymringsfull i dagens samfunn.



*Figur 16* Illustrasjon av fosforsyklusen. Mesteparten av fosfor stammer fra bergarter og jordsmonn. Grunnet nedbør vaskes det ut i havet og danner sedimentære bergarter (Fowler, Roush, & Wise, 2013)

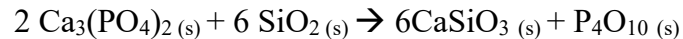
Grunnet det lange kretsløpet for å bli tilgjengelig etter det er brukt, gjør det P til en utsatt ressurs som verden står i fare med å bruke opp. Mengden tilgjengelig P fra gruvedrift reduseres etter hvert det utvinnes, og om kun noen få tiår kan verden har nådd toppen av fosforutvinningen, i en studie International Fertilizer Development Center (IFDC) fra 2010, beregnet man at med uttaket av P med veksten av ressursuttak, vil man nå toppen av produksjon i år 2033-2034, og etter det vil den avta (Van Kauwenberg, 2010). Disse tallene er derimot høyst usikre og estimater fra ulike kilder sier at tilgjengeligheten av råfosfat kan være alt fra 10 – 2000 år (Spilde, 2022). Med begrenset tilgang på P til landbruket, vil verden potensielt møte en stor matvarekrise, med økte matvarepriser og konkurranse om ressursene (Cordell, Drangert, & White, 2009).

#### 2.5.4 Fremstilling av fosfor

P fra gruvedrift ligger i apatitt, koks og kvartssand. For å kunne utnytte fosforet som ligger lagret i bergarten, må det fremstilles i en energikrevende prosess, ved at det først varmes i en



elektrisk ovn sammen med silikat på temperatur på 1400 – 1600 °C (Kofstad & Pedersen, 2022) i følgende reaksjon:



Fosforpentoksid blir videre redusert med karbon, og ren fosforgass blir dannet, før den blir nedkjølt til fast, hvit P. Dette skjer i følgende reaksjon (Kofstad & Pedersen, 2022):



P kan da videre bli brukt til produksjon av produkter som fosforsyre, og fosfater. Mesteparten, omtrent 80 % blir brukt til produksjon av gjødsel, resten går til produksjon av blant annet vaskemidler og legemidler (Kofstad & Pedersen, 2022).

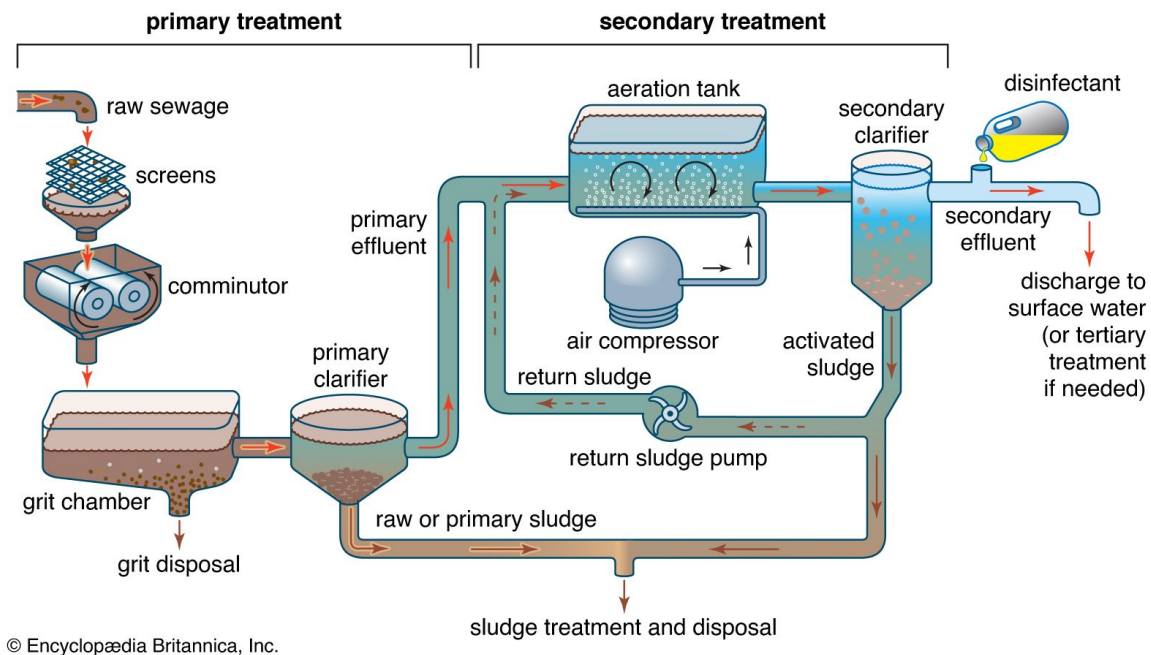
Denne prosessen er energikrevende, og bruker omtrent 14 kW per kilogram fosfor som blir fremstilt. Dette fører til at produksjonen krever enormt med energi, og med energiproduksjon, følger ofte CO<sub>2</sub> utslipp, ved en mer effektiv og fornuftig bruk av P, er det stort potensiale for kutt i CO<sub>2</sub> utslipp i denne sektoren av industrien (Townsend, Houlton, & Vitousek, 2022)

Et annet miljøaspekt er biproduktene som er igjen etter dannelsen av P, er kalsiumsulfat dihydrat (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O). Dette inneholder naturlig høye forekomster av radioaktivt materiale fra blant annet Uran og Thorium, som slippes ut som radon. For hvert tonn med P som blir utvunnet fra fosfatstein, blir det igjen 5 tonn av CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O. Grunnet faren for radioaktive utslipp, er det lite bruksområder for dette biproduktet, og det blir kun lagret i store kvanta i nærheten av gruvene. Globalt øker mengden med radioaktivt biprodukt med omtrent 110 millioner tonn i året, og utgjør en større og større risiko, da det kan lekke ut i grunnvannsforkomster og gjøre dem ubrukelige som drikkevannskilder (Cordell, Drangert, & White, 2009).

## 2.6 Vannrensing av avløpsvann

For at vann som er forbrukt og sluppet ut i avløp, skal kunne slippes ut i det hydrologiske kretsløpet, må det gjennomgå en renseprosess for å fjerne forurensinger og næringsstoffer som er uønskede å slippe ut i naturen, til et lav nok konsentrasjon til at det ikke gjør skade. Vannet gjennomgår flere ulike prosesser, hvor man deler det hovedsakelig inn i to – tre steg for å rense avløpet. Det er primær, sekundær og eventuell kvartær og tertiær rensing. I et kommunalt renseanlegg i Norge, og ellers i verden skiller man rensetrinnene i tre ulike kategorier: mekanisk rensing, biologisk rensing og kjemisk rensing. Et avløpsanlegg og trinnene som benyttes, kan settes sammen på ulike måter, og ulike teknikker kan kombineres

for å rense avløpsvannet, avhengig av hvilke biprodukter man ønsker å sitte igjen med, og hvor rent man ønsker at avløpsvannet skal være (Boye N. C., 2013). Figur 17 illustrerer et eksempel på et avløpsrenseanlegg som viser forskjellen på primær og sekundærbehandling. I noen avløpsrenseanlegg finnes det også tertiære og kvartære steg, som renser og desinfiserer vannet ytterligere om det skulle være nødvendig (Boye N. C., 2013).



Figur 17 Illustrasjon av avløpsrenseanlegg med primær og sekundær behandling (Encyclopædia Britannica, 2022)

### 2.6.1 Mekanisk behandling

Slik avløpsbehandling foregår gjerne med bruk av fysiske barrierer, som større fysiske sperringer, filtre, membraner og sedimentering, uten bruk av kjemikalier og biologiske virkemidler (Boye N. C., 2013). I det primære trinnet i avløpsbehandling, inngår ofte mekaniske behandlingssted, hvor man fjerner større objekter, før man begynner å tilsette ting til vannet for å utføre renseprosesser (Encyclopædia Britannica, 2022).

Når vann forlater kilden, for eksempel et toalett, inneholder det mange ulike stoffer, som er både fast, løst og blandet i vannet. Vann fra flere avløp samler seg i et kloakksystem, før det blir sendt til avløpsrenseanlegget. Det første som skjer i anlegget, er at større partikler blir filtrert ut ved hjelp av større, grove siler, som skiller ut de største partiklene. Vannet blir videre sendt inn til finere filtre som fanger mindre partikler. Videre blir vannet sendt til et sedimentasjonsbasseng hvor man tilsetter noe luft. Da vil, grus og sand legge seg på bunnen av et basseng og fjernes fra prosessen. Hydrofobe forbindelser som fett og olje, vil legge seg på toppen, og skrapes av og behandles videre (Hammer & Hammer jr., 2001). Vannet blir videre sendt inn i et nytt basseng hvor det står i ro, og mindre, lette partikler bestående av

organisk stoff, vil bunnfelle. Bunnen blir så skrapet, og avfallet blir skilt ut som slam, som blir prosessert videre, som vist i Figur 17, hvor slammet blir skilt ut i bunn av figuren. Det er også mulig å bruke ulike typer filtermedier som absorberer organisk materiale og næringsstoffer fra avløpsvannet, en utfordring med dette, er at filtermediet med jevne mellomrom må byttes ut, når absorpsjonsevnen begynner å reduseres (Bunce, Ndam, Ofiteru, Moore, & Graham, 2018). Mekanisk rensing har en renseseffekt på 25 – 35 % av organisk materiale i avløpsvann, og 10 – 20 % på fosforfjerning (Vråle & Thaulow, 2022)

### 2.6.2 Biologisk rensing

Etter det primære trinnet, hvor større partikler og sedimenter er fjernet fra avløpsvannet, bruker man gjerne et biologisk rensetrinn. Her utnyttes ulike mikroorganismers evne til å bryte ned eller ta opp biologisk materiale og næringsstoffer. Mikroorganismer kan nyttes både i behandling av vann og slam som er igjen etter avløpsrensingen (Boye N. C., 2013).

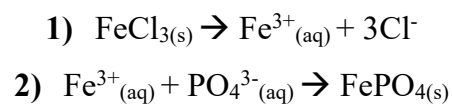
Mikroorganismer kan nyttes på flere måter. Ved å introdusere mikroorganismer i bassenget med vann, kan man legge forholdene til rette, slik at mikroorganismene kan fungere best mulig. På Figur 17, har man en luftetank, hvor man pumper inn luft, og legger til rette for aerob celleånding, hvor bakterier tar opp organisk materiale, forbrenner noe av det til CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O, og bruker også en del av det organiske materialet som næring til celledeling og bakterievekst. Etter hvert som antallet bakterier i luftebassenget øker, vil de begynne å danne kolonier, som etter hvert vil bli så omfangsrike at de kan sedimenteres. Vannet fra luftebassenget blir som vist på Figur 17 overført til et nytt sedimenteringsbasseng. Her bli bakteriene sedimentert, og tatt ut av tanken. Noe av slammet som blir dannet, blir skilt ut og rensert videre, men mesteparten av slammet blir pumpet tilbake til luftetanken, da det er et høyt innhold av friske bakterier i dette slammet, som kan nyttes videre til nedbryting av organisk stoff (Boye N. C., 2013) (Hammer & Hammer jr., 2001).

Biologisk rensing kan også foregå anaerobt, ved at man ikke lar oksygen være til stede under rensesprosessen. Man introduserer da gjerne en lukket beholder i rensesprosessen som ikke får tilført oksygen, denne blir kalt en bioreaktor. I bioreaktoren virker anaerobe bakterier, biproduktet fra anaerob celleånding er metan (CH<sub>4</sub>), som kan brukes til produksjon av biogass. Anaerobe bakterier har også bedre evne til å ta opp fosfor og nitrogen fra organisk materiale, enn det som er tilfelle for aerobe bakterier. Anaerob avløpsrensing har også fordelen med at det er mindre energikrevende enn aerob avløpsrensing, som trenger tilført store mengder oksygen for å være effektivt. (Bunce, Ndam, Ofiteru, Moore, & Graham, 2018).

Biologisk rensing kombinert med filter er også mulig. Her introduserer man et filtermedia som mikroorganismer fester seg til, og danner en *biofilm*, hvor bakteriene vokser, og tar opp organisk materiale som passerer filteret. Filtermediet kan være alt fra stein, til mer syntetisk materiale som plastikk (Bunce, Ndam, Ofiteru, Moore, & Graham, 2018). Biologisk rensing har en renseseffekt på 80 – 90 % for organisk materiale, og 20 – 35 % for fosfor (Vråle & Thaulow, 2022).

### 2.6.3 Kjemisk rensing

En vanlig metode for å fjerne uønskede stoffer, som blant annet fosfor fra avløpsvann, er ved kjemisk felling ved bruk av lettløselige  $\text{Al}^{3+}$  eller  $\text{Fe}^{3+}$  salter. Disse danne tungløselige forbindelser med  $\text{PO}_4^{3-}$ , i tanken hvor man tilsetter slike kjemikalier, vil de tungløselige saltene flokkullere og bunnfelle til sediment, som blir tatt ut sammen med avløpsslammet (Boye N. C., 2013). Dette er en effektiv måte å fjerne suspenderte stoffer slik som fosfor fra avløpsvannet, men løste salter kan resultere i pH – endring i vannet. Det er også nødvendig med varierende mengde av salt tilsatt i avløpsvannet, alt etter fosforinnhold. Dette kan føre til store kostnader knyttet til kjemikaliebruk, da det gjerne er 1:1 forhold mellom mengde fosfat i avløpsvannet, illustrert i følgende kjemisk reaksjon:



Mengden felt jern(III)fosfat ( $\text{FePO}_4$ ) eller aluminiumfosfat ( $\text{AlPO}_4$ ), alt etter hvilket salt som blir tilsatt som fellingsmiddel, vil variere ut ifra pH verdi. Både  $\text{Al}^{3+}$  og  $\text{Fe}^{3+}$  vil være effektivt som fellingsmiddel for pH verdier  $< 7$  (Brezonik & Arnold, 2011). Kjemisk felling har en renseseffekt på 60 – 75 % for organisk stoff, og 80 – 95 % for fosfor.

### 2.6.4 Kombinasjon av metoder

Et avløpsrenseanlegg bør gjerne bestå av flere ulike trinn for å oppnå mest mulig effektiv rensing. Kun mekanisk rensing vil være lite hygienisk, da det stort sett tar opp større partikler og lar både organisk og uorganisk materiale passere. Ved bruk av kjemisk rensing, vil det kunne være effektivt for felling av suspenderte stoffer og tungmetaller, men lite effektivt for fjerning av biologisk materiale. Biologisk rensing gir god fjerning av næringsstoffer og organisk materiale, avhengig av anaerob eller aerob rensing, biologisk rensing har derimot en begrenset effekt på fjerning av metaller og tungmetaller, som gjerne fjernes med kjemisk felling. For å konstruere en optimal avløpsrensing, trenger man en kombinasjon av flere teknikker, Tabell 1 viser effekten av å kombinere ulike teknikker, og hvor mye høyere renseseffekt man får når man kombinerer teknikker.

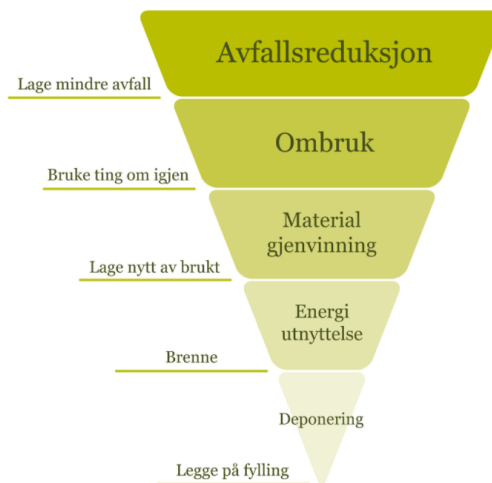
**Tabell 1: Viser renseseffekt man kan oppnå med ulike forurensninger i avløpssvann.**

Tabellen er hentet fra Boken *Kjemi og Miljølære*, 4. utgave (Boye N. C., 2013)

Forurensning	Renseprosess		
	Mekanisk	Mekanisk/kjemisk	Mekanisk/biologisk-kjemisk
Suspenderte stoffer	50 %	90 %	95 %
Organisk stoff	25 %	70 %	90 %
Totalt fosfor	15 %	90 %	95 %
Totalt Nitrogen	10 %	15 %	25 %

### 2.6.5 Avløpsslam og slambruk

Det er et prinsipp i Norsk og Europeisk politikk å redusere mengden avfall man deponerer, ved å følge avfallspyramiden, som er illustrert i Figur 18, ønsker man i størst mulig grad å utnytte avfall i størst mulig grad (Loop - Stiftelsen for kildesortering og Gjenvinning, 2022). Etter avløpsrensing, ønsker man å sitte igjen med minst mulig unyttig avfall i henhold til avfallspyramiden, ønsker man i størst mulig grad å gjenbruke dette.



*Figur 18 Avfallshierarkiet, som viser hvordan man ønsker å redusere avfall, og hvordan man optimalt sett utnytter avfall man har dannet (Loop - Stiftelsen for kildesortering og Gjenvinning, 2022).*

Et produkt det er mye av etter rensesprosessen er avløpsslam. Avløpsslammet blir etter avløpsrensing overført til stabiliseringstanker, hvor organiske stoffer som gir en sjenerende lukt, blir brutt ned av anaerobe bakterier. I disse tankene blir det da produsert metangass, som blir fanget opp, og brukt som brensel og produksjon av energi (Boye N. C., 2013). Slammet

som er igjen i stabiliseringstankene etter at de anaerobe bakteriene har brutt ned de organiske forbindelsene, inneholder mye næringsstoffer som blant annet N, P og flere mikronæringsstoffer. Alle disse næringsstoffene er nyttige før økt plantevekst, og man ønsker i stor grad og returnere disse stoffene tilbake til jorda (Norsk vann, 2022). Slammet blir ofte behandlet videre og tørket, for å fjerne vann og hygienisere slammet, før det føres ut til jordet (IVAR, 2022) Undersøkelser viser at avløpsslam påvirker landbruksjord positivt, når man tilfører det, da jorden får tilført flere av de nødvendige næringsstoffene som trengs for å få god plantevekst. Gjenbruk av avløpsslam til jordbruk, vil kunne redusere bønderes behov for å tilføre jorda dyr kunstgjødsel, og dermed senke behovet noe for verdens industrielle gjødselproduksjon (Norsk vann, 2022).

#### 2.6.6 Utfordringer ved slam fra avløpsrensing i landbruket

Bruken av avløpsslam er ikke helt uten risiko for forurensing og skade for miljøet. Stoffer som tungmetaller, bakterier og medisinrester er ting som ikke blir fjernet fra avløpsslam etter det er fjernet fra avløpsvannet. Likevel viser en rapport fra Vitenskapskomiteen for mattrygghet at avløpsslam er regnet som trygt å bruke i landbruk, da konsentrasjonen av miljøgifter har vist seg å være synkende, etter hvert som bruken av blant annet tungmetaller i industrien og husholdninger har blitt redusert de siste årene, så har tilførselen av dette til avløpsvann også sunket (VKM, 2009). Men bruken av avløpsslam allikevel er strengt regulert, slik at man unngår for stor eksponering for eventuelle miljøgifter som skulle være til stede i slammet (FHI, 2022).

#### 2.6.7 Fosfor i avløpsslam

I avløpsslam er P en viktig bestanddel av næringsstoffene som er til stede. Mengden med plantetilgjengelig P avhenger derimot veldig av renseprosessen avløpsvannet er blitt utsatt for, før slamdannelse, men også behandling av slammet påvirker plantetilgjengeligheten til fosforet i avløpsslammet. Undersøkelser viser at P renses med biologisk, anaerob avløpsrensing gir plantetilgjengelighet på nivå med mineralgjødsel. P som er kjemisk felt med Fe eller Al, avtar med økende innhold disse ionene i slammet (COWI, 2017).

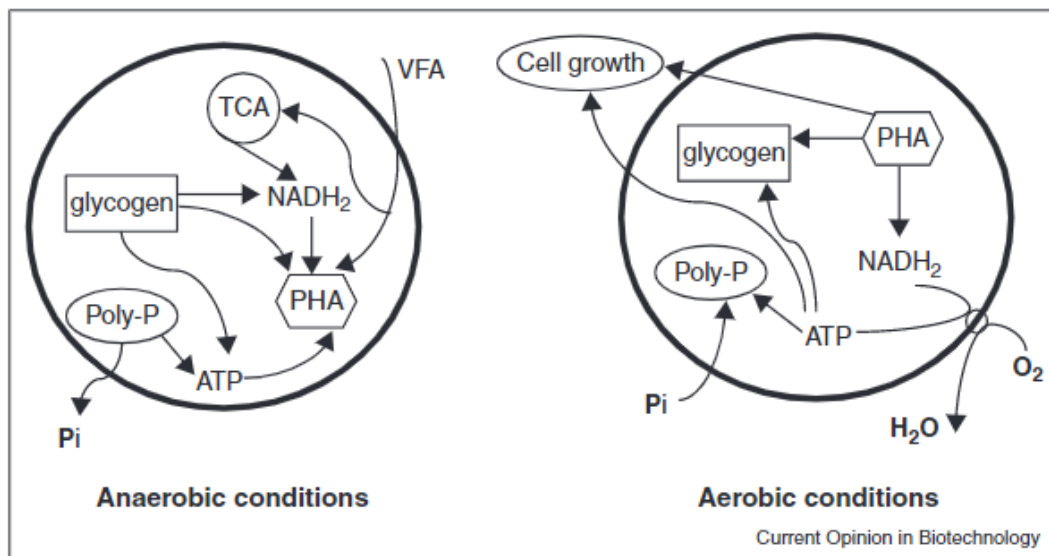
Tørking av slam gjør kjemisk felt P enda mer planteutilgjengelig, noe som har som konsekvens, at man i større grad må tilføre kalk for å endre pH i landbruksjorda, for å øke tilgjengeligheten av den kjemisk felt P. Man kan eventuelt tilsette mer mineralsk P i avløpsslammet, før det blir tilført jordet (COWI, 2017).

### 2.6.7.1 Forbedret biologisk fosfor fjerning - EBPR

Da kjemisk felling har sine begrensninger for videre bruk av P, har biologisk fosforfjerning i avløpsvann har størst potensiale for å få utvunnet mest mulig plantetilgjengelig P fra avløpsvannet (Bunce, Ndam, Ofiteru, Moore, & Graham, 2018).

En teknikk som har vist til gode resultater for fosforutvinning er EBPR (*Enhanced Biological Phosphorous Removal*). Teknikken går ut på at man utnytter en spesiell type bakterier kalt PAO (*polyfosfat akkumulerende organismer*), som er en gruppe bakterier som tar opp P for å øke sin cellevekst, opptaket må foregå under vekselvis aerobe og anaerobe forhold for å være optimal. Ved å ta i bruk PAO i avløpsrensingen, gjør man dette under slamprosessen. I Figur 17 illustreres en luftetank, hvor organismer bryter ned organisk materiale, ved bruk av EBPR introduseres flere steg til denne prosessen, man veksler mellom anaerob og aerob prosess (Yuan & Pratt, 2012).

Det er biokjemien til PAO som gjør dem til interessante organismer til bruken under anaerobe forhold. Under slike forhold vil tre ulike intracellulære polymere; polyfosfat, glykogen og polyhydroxyalkanoat (PHA) bidra til at PAO kan ta opp korte, flyktige fettsyrer (VFA – *volatile fatty acids*) (Yuan & Pratt, 2012). Metabolismen til PAO er illustrert i Figur 19. Ved at polyfosfat hydrolyseres, vil det bli frigitt energi til cellen som gjør at den kan bryte ned karbonforbindelsene i VFA som befinner seg i avløpsvannet, til PHA. Den reduserende ekvivalenten i denne prosessen er glykogen. PHA blir lagret i cellen, og blir oksidert for å gi energi til økt fosfat opptak og cellevekst (Yuan & Pratt, 2012). PAO vil veksle mellom å frigi fosfat, og ta opp fosfat ut ifra om de er utsatt for anaerobe eller aerobe forhold. Under anaerobe forhold vil de gi fra seg  $\text{PO}_4^{3-}$ , og heller øke sin cellevekst. Den økte mengden celler vil igjen ta opp fosfat, og grunnet økt biomasse av PAO, vil netto opptak av P fra avløpsvannet i form av  $\text{PO}_4^{3-}$  være høyere, enn forbruket av fosfat som PAO har (Yuan & Pratt, 2012).



Figur 19 Figur over anaerob og aerob metabolisme for PAO (Yuan & Pratt, 2012).

Videre utnyttelse av avløpsvann rensert med EBPR kan være å bruke slammet direkte, slik man vanligvis gjør med avløpsslam. I vanlig avløpsslam er mengden tørrvekt med P 1 – 2 %, slam behandlet med EBPR har et fosfor innhold på 5 – 7 % tørrvekt (Yuan & Pratt, 2012). Et problem med dette er at fosforinnholdet i slammet gjerne blir såpass høyt, at man vanskelig å dosere riktig mengde slam på landbruksområdet, og da gjerne oppnår overdosering av fosfor (Glestad, Gjenvinning av fosfor som struvitt ved Hias rensaneanlegg, 2022)

Et annet alternativ som kan gjøre det lettere å gi en riktig P dosering til landbruksjorden fra avløpsvann rensert med EPBR er å utvinne magnesium – ammonium – fosfat ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ), som går under betegnelsen struvitt. Dette er en krystall som dannes i en reaktor, hvor flere ionebytter i ulike salter skjer, og det felles krystaller, hvor man må tilsette Magnesiumklorid ( $MgCl_2$ ) i tillegg til stoffene som utvinnes fra avløpsvannet (Rahman, Amran, & Ra, 2013). Krystallene har flere fordeler, da det har relativt lav løselighet i vann, med en løselighet på  $0,033 \text{ g } 100^{-1} \text{ mL}^{-1}$  i svakt syrlig miljø (Shih & Yan, 2016). Krystallen løses sakte, og P og N som løses fra krystallen har høy plantetilgjengelighet, dermed sikrer struvittgjødsling lang og stabil tilgang til næringsstoffer på jorden (Rahman, Amran, & Ra, 2013). Ved slik gjødsling vil unødvendig utslipp vassdrag og sjø grunnet erosjon muligens begrenses.

## 2.7 Rensing av drikkevann

Vann fra en drikkevannskilde må ofte gjennomgå noen rensetrinn for å tilfredsstille WHO sine krav til hva som kvalifiserer til rent drikkevann. For å fjerne sykdomsfremkallende bakterier, tungmetaller, men også organiske forbindelser som kan gi vannet uønsket farge og



lukt, er det flere prosesser vannet må gjennom. Prosessene er delt inn i tre hoveddeler, *siling*, *alkalisering* og *desinfisering* (Boye N. C., 2013).

### 2.7.1 Filtrering/Siling

Flere drikkevannskilder er overvannskilder og kan inneholde flere større partikler, dyr, insekter og andre forurensinger. Før vannet sendes inn i videre behandling, sendes det normalt sett gjennom et filter som er første barriere for å fjerne forurensinger fra drikkevannet, grunnvann er naturlig filtrert i naturen, og trenger ikke like mye filtrering som overflatevann (Boye N. C., 2013). Filteret kan være en fysisk barriere av metall eller plastikk, men kan også være granulbasert ved bruk av grus, sand, eller avanserte filtermedier som granulert aktivert karbon (GAK). Vannet kan passere filteret ved at det pumpes gjennom på kort tid, eller at det passerer sakte ved hjelp av tyngdekraft (IWA, 2022).

Filter kan også være membraner med poreåpninger i membranen som er så små at det kan stoppe både mikroorganismer, virus, og i de mest avanserte membranene er det mulig å stoppe ioner. For eksempel vil en membran med mikrofiltrerteknologi (MF) ha porestørrelse på omtrent  $0.1 \mu\text{m}$  (IWA, 2022), en av de minste bakteriene i fysisk størrelse er *Spirochaetes* som har en størrelse på mellom  $0.1$  til  $0.15 \mu\text{m}$  (Staley, 2022). Teknikker som Ultrafiltrering (UF) og Nanofiltrering (NF) har porestørrelser på mellom  $0.01 - 0.001 \mu\text{m}$ . Revers osmose (RO) har ingen porer, og er impermeabel for monovalente ioner, og vil være høyst effektivt for fjerning av alle komponenter som vannet skulle inneholde, da kun vannmolekyler vil kunne slippe gjennom en RO membran (IWA, 2022). Membraner vil være effektive som barriere, men lite kostnadseffektivt som eneste barriere, da de som porestørrelsene vil fort bli tettet igjen, og må dermed skiftes ut eller vedlikeholdes. Desto mer impermeabel en membran er, desto høyere vil drifts og vedlikeholdskostnadene være. Membraner inkluderes da gjerne som en del av vannresningen kombinert med andre filtre. En annen ulempe med membraner er at desto mer impermeable de er, desto høyere drifts og vedlikeholdskostnader.

### 2.7.2 Alkalisering

Da vann noen ganger har en lav pH, grunnet høyt  $\text{CO}_2$  innhold, spesielt i overflatevann som blir eksponert for  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren. For å redusere innhold av tungmetaller og korrosjon på vanddistribueringsystemer økes pH ved tilsetning av alkaliserende kjemikalier som for eksempel natriumhydroksid (NaOH), kalsiumhydroksid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) eller kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Vråle & Thaulow, 2022).

### 2.7.3 Desinfisering

For å redusere faren for smittebærende organismer i drikkevannet, er desinfisering en viktig faktor for å få rent drikkevann. Etter desinfisering skal det ikke være mulig å påvise indikatorbakterien *Escherichia coli* (*E-coli*), i vannet. Denne bakterien finnes naturlig i menneskers tarmflora, kan ikke denne påvises, regner man med at sykdomsfremkallende bakterier heller ikke kan overleve desinfiseringsprosessen (Boye N. C., 2013). Midler som brukes for desinfisering er ofte klorgass, som følger og dreper mikroorganismer gjennom hele ledningsnettets frem til forbruker. Utfordringen med klor, er at det kan danne klorerte organiske forbindelser som kan være kreftfremkallende (Boye N. C., 2013).

Andre vanlige former for desinfisering er bruk av UV-stråling, som i motsetning til klor ikke danner nye forbindelser. UV-stråling blir derfor mer og mer brukt i drikkevannsindustrien som desinfiserende barriere, da det har god effekt på parasitter og bakterier, men litt mindre effektive mot virus i drikkevann (Norsk vann, 2022).

Et alternativ for desinfisering som begynner å bli mer brukt er Ozon ( $O_3$ ), som er et kraftig oksidasjonsmiddel som har god desinfiserende effekt overfor bakterier og virus (Norsk vann, 2022).

Kjemisk felling forekommer også som en form for desinfisering når innholdet av organiske forbindelser i vannet er høyt. Da tilsettes aluminiumhydroksid ( $Al(OH)_3$ ), som danner hydroksidforbindelser som tiltrekker seg kolloider (Boye N. C., 2013), som blant annet vil føre til at bakterier og virus fester seg til disse store partiklene som bunnfeller eller blir filtrert ut av vannet (Vråle & Thaulow, 2022).

Et annet desinfiseringsalternativ er bruken av membraner, som kan designes for å fjerne bakterier, virus og parasitter. Bruk av membraner kan dermed bidra til å redusere bruken av kjemikalier i vannrensing, og være i tråd med FNs Bærekraftsmål (Boye N. C., 2013).

### 2.7.4 Gjenbruk av avløpsvann til drikkevann

Gjenbruk av avløpsvannet som drikkevann er noe utbredt i verden i dag, hvor flere metoder for rensing blir praktisert. Vann som er ferdig rensed fra avløpsrenseanlegget som skal gjenvinnes som drikkevann, blir gjerne kalt for resirkulert vann. Et kjent problem med rensed avløpsvann er at det har et høyt innhold av salter, som gjør det lite egnet for gjenbruk til både vanning i landbruket, til bruk i industri og som drikkevann (Shtull-Tauring, Cohen, Beb-Hur, Tanny, & Bernstein, 2020). Vannet må derfor gjennomgå videre rensing i et tertiært og

kvartært rensetrinn som fjerner ioner og patogene bakterier før det gjenbrukes i industri eller jordbruk (Wildon, 2022). Skal vannet bli brukt om igjen til drikkevann, renses vannet og desinfiseres, gjerne med klor, før det distribueres tilbake til en grunnvannskilde, hvor det blandes med vannet som er her. Herifra blir vannet tatt opp i drikkevannsanlegget og renses som vanlig drikkevann før det distribueres ut fra anlegget (Cho, 2022). Mange er sannsynligvis skeptiske til å drikke vann som stammer fra avløpsvann, men ser man på renseprosessen, blir drikkevannet gjerne renses vesentlig mye mer enn vanlig drikkevann fra en drikkevannskilde, og bør derfor være helt trygt å drikke (Cho, 2022).

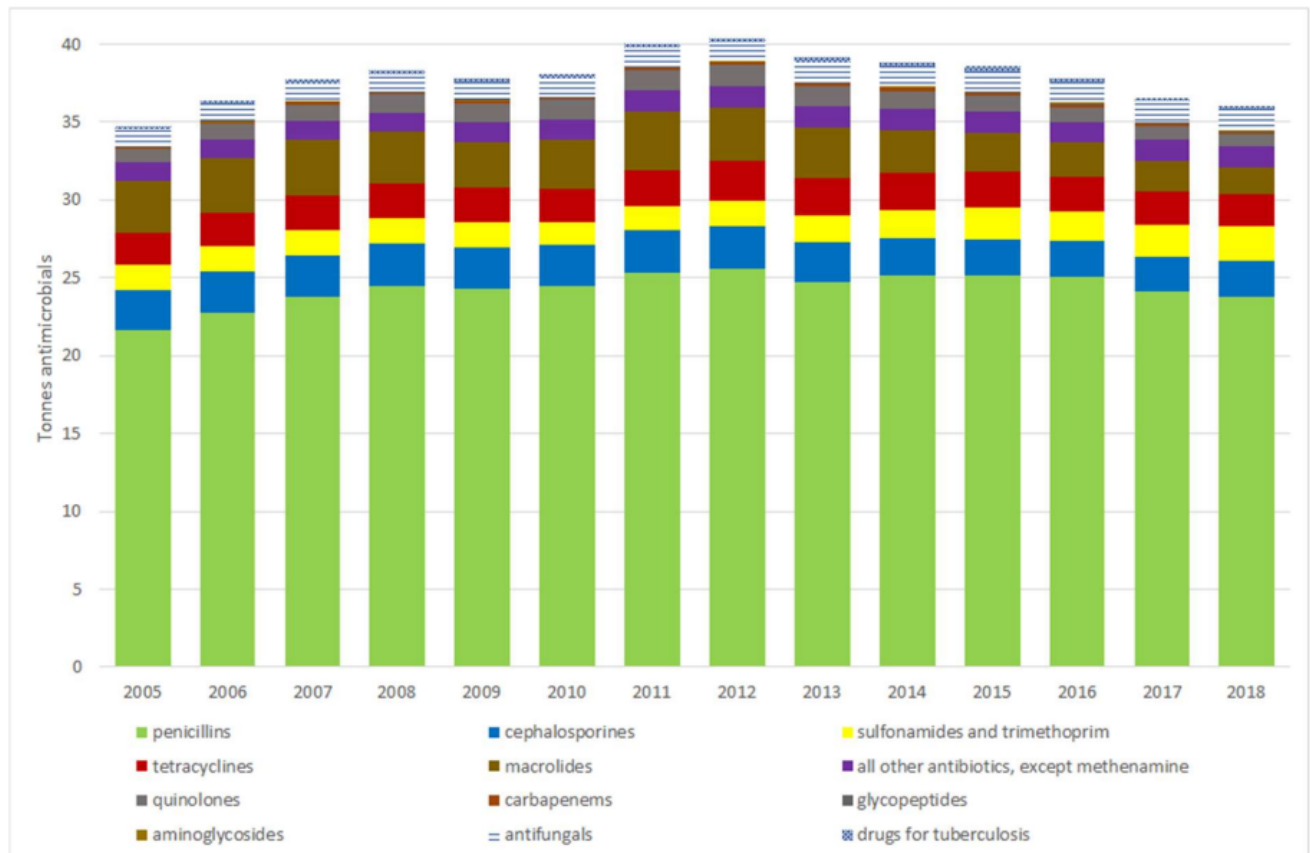
## 2.8 Antibiotika og antimikrobiell resistens

Helt siden Alexander Flemmings (1881 – 1955) oppdagelse av *Penicillin* i 1928, har bruken av antibiotika vært en av våre viktigste behandlingsmåter av bakterielle infeksjoner og sykdommer og har opp gjennom historien bidratt til å redde millioner av menneskeliv ved å kurere sykdommer som lungebetennelse, tuberkulose, blodforgiftning og andre sykdommer som i dag blir sett på som mindre alvorlige ved sykdom (Henriksen, Bøvre, & Smebye, 2022). Antibiotika som legemiddel fungerer på den måten at det har en kraftig virkning på bakteriens syntese som danner bakteriens cellevegg, eller som hemmer bakteriens proteinsyntese. Antibiotika har ulik virkningsgrad på ulike bakterietyper, *grampositive* bakterier er følsomme for antibiotika sorter som angriper cellenes syntese av cellevegg, som for eksempel *Penicillin*. *Gramnegative* bakterier er mer følsomme for antibiotika typer som hemmer bakteriens proteinsyntese, som for eksempel *streptomycin* (Henriksen, Bøvre, & Smebye, 2022). Antibiotika blir delt inn i to hovedkategorier, smal – og bredspektret. Smalspektret virker kun på bestemte bakterietyper, mens bredspektret antibiotika virker på flere ulike bakterietyper (Antibiotika.no, 2022). Det er begrenset med ulike sorter av antibiotika, og utvikling av nye typer antibiotika har nærmest stoppet opp de siste 30 årene (Tønjum & Otterholt, 2022), og bakterier som ikke blir påvirket av antibiotika, blir kalt for resistente bakterier.

### 2.8.1 Antibiotika resistens

I naturen finnes det bakterier som ikke merker effekten av antibiotika, dette kalles *naturlig resistens*, og er normalt, det kan være at en eller flere typer antibiotika ikke fungerer på bakterien, og da tar i bruk andre typer antibiotika som vil fungere. Et økende problem er derimot at flere og flere bakterier gradvis endres, slik at de blir resistente mot antibiotika, dette kalles for *ervert resistens*, og blir av WHO sett på som et av de største problemene for den globale folkehelsen, i Europa dør det årlig omtrent 33 000 mennesker grunnet denne problemstillingen (Tønjum & Otterholt, 2022).

Grunnen til økning i antibiotika resistente bakterier (ARB), også kalt *antiresistente bakterier* er flere, men hovedårsaken skyldes et stort, økende og ukritisk bruk av antibiotika i medisinsk behandling, Figur 20 viser utviklingen i omsatt mengde antibiotika fra 2005 – 2018, bare bruken av *Penicillin* står for om lag 22 tonn i året (VKM, 2020).



Figur 20 Salg, i tonn av antibiotika fordelt på ulike sorter, til menneskelig bruk (VKM, 2020)

En annen stor kilde til ARB er landbruket. Store mengder antibiotika blir også brukt i landbruket, både for å forebygge og fjerne sykdommer hos planter og dyr (Mann, Nehra, Rana, & Dahiya, 2021). I 2010 var forbruket av antibiotika i landbruket på omtrent 67 000 tonn, og er forventet å stige med opp mot 67 % frem mot 2030. Noe som gjør landbruk til en enorm kilde for utvikling av ARB (Van Boeckel, Brower, Gilbert, & Laxminarayan, 2015).

Når mikroorganismer eksponeres for antibiotika, vil det kunne oppstå mutasjoner i bakterier og antibiotika resistente gener (ARG) vil kunne dannes. Bakterier har også evnen til å dele gener på tvers av slekt og art, og dermed kan en ARB spre ARG (Tønjum & Otterholt, 2022).

Bruken av bredspektret antibiotika er spesielt problematisk med tanke på utvikling av ARB, slik behandling er ikke målrettet mot bakterien som er skyld i infeksjon, sykdom, men angriper flere bakterier, som gjerne er en naturlig del av tarmflora og fordøyelse også blir utsatt. Ved slik behandling er det større risiko for mutasjoner og utvikling av ARG, da et

større antall bakterier er utsatt, enn ved bruk av smalspektret antibiotika, som kun målretter seg mot den spesifikke bakterien som er skyld i infeksjonen (Reiersen, 2022).

Utviklingen av ARB skjer gjerne i tarmen, hvor man har flere ulike bakterier som har viktige roller i fordøyelsen. Hvis en eller flere bakterier er blitt utsatt for antibiotika over tid, for eksempel ved en lang antibiotika kur med bredspektret antibiotika, kan det oppstå mutasjoner som kan lede til dannelse av ARG. Hvis denne bakterien, som lever sammen med andre bakterier, blir i stand til å formere seg, og vokse hurtigere enn de ikke – resistente bakteriene. Dermed vil konsentrasjonen av ARB i tarmen kunne vokse hurtig. Bakterier som blir utsatt for flere ulike typer antibiotika og utvikler resistens mot mer enn en type antibiotika blir klassifisert som *multiresistente* (Tønjum & Otterholt, 2022). En annen måte det kan utvikles flere ARB, er at bakterier kan overføre ARG til hverandre. Flere bakterier tett sammen kan ved *konjugasjon* spre gener til hverandre. Bakterier kan også ta opp fritt DNA fra skadde eller døde ARB bakterier, ved hjelp av *transformasjon* eller *transduksjon* (Tønjum & Otterholt, 2022). Slik deling av DNA på tvers av bakterier kalles *horisontal genoverføring* (HGO) (Aarnes, Horisontal genoverføring, 2022).

### 2.8.2 Antiresistente bakterier i avløpsvann

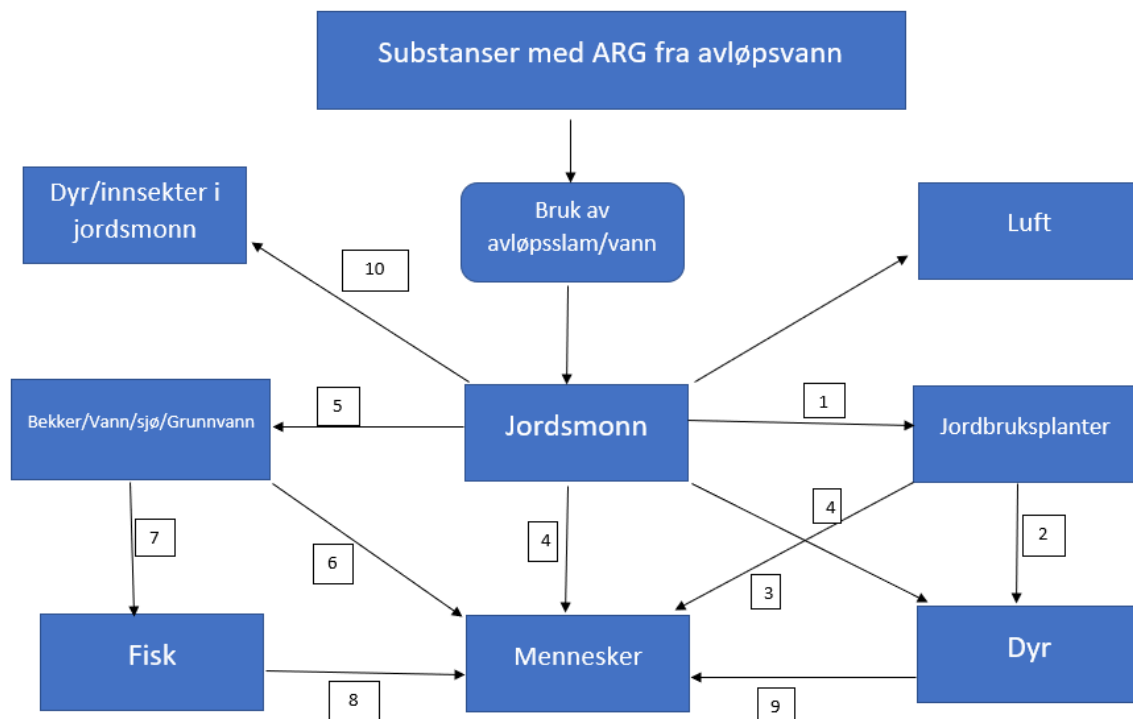
Da mesteparten av ARB hos mennesker utvikles i tarmen, vil også en del av disse kunne spre seg ved avføring, avføringen sendes følgelig til avløpsrenseanlegg. I avføringen kan det også være spor av ren antibiotika som ikke er blitt tatt opp i kroppen, og blir da sent ut med resten av avfallsstoffene (Huang, et al., 2021). Ulike typer antibiotika kan ha ulik halveringstid, alt ifra 0,5 – 24 t (VKM, 2020), noe som betyr at fullt fungerende antibiotika kan gå gjennom fordøyelsen og ta turen til avløpsrenseanlegget, hvor det kan eksponere bakterier i anlegget. Avløpsrenseanlegg blir betraktet som ideelle områder for økt spredning og utvikling av ARG og ARB, grunnet bruken av mikroorganismer i slambehandling og biologisk nedbrytning av næringsstoffer (Petrovich, et al., 2018). Bruk av biofilmer i resirkulering av næringsstoffer blir sett på som ekstra ideelle områder for HGO av ARG, da dette er områder hvor bakteriene vokser tett og lever under ideelle forhold (Petrovich, et al., 2018).

Til avløpsanlegget kommer vann fra flere kilder enn husholdninger, både avløpsvann fra sykehus, slakterier, farmasøytisk industri og annen industri ender opp hos avløpsrenseanlegg, noe som gjør sannsynligheten for at relativt store mengder ARB, ARG og ren antibiotika ender opp i avløpsvannet (VKM, 2020). I avløpsrenseanlegg er det heller ingen egne rensemetoder som blir brukt for å fjerne ARB eller antibiotika, noe som fører til at vann og avfall som slipper ut fra rensesanlegg kan være forurenset med dette, det er heller ikke noen

myndighetskrav om minimumsinnholdinnhold av verken antibiotika eller ARB av det som slippes ut fra avløpsrensning (VKM, 2009). Sammenlignet med andre land slipper Norge ut lite ARG og antibiotika i avløpsvannet, men det er et økende problem (Schwermer & Uhl, 2022). Disse substansene blir da med videre i produkter som blir gjenbrukt, i form av slam og utslipp av rensset avløpsvann, og kan skape problemer selv etter det har gjennomgått avløpsrensning.

### 2.8.3 Kjente eksponeringsveier for ARG

Figur 21 illustrerer et nett av ulike veier mennesker kan bli eksponert for organismer som kan ha ARG eller mulig utvikle ARB ved å ta opp antibiotika gjennom næringsopptak. Slam og gjødselprodukter fra avløpsrensning er mye gjenbrukt i jordbruket, og gjør dermed at organismene som man finner her, kan bli overført til nye kilder og bli spredd derifra.



Figur 21 Oversikt over ulike mulige eksponeringsveier for ARG organismer. (VKM, 2020)

#### 2.8.3.1 Smittevei 1 – Fra jordsmonn til planter

Planter i jordbruk og naturen, lever i symbiose med bakterier, som hjelper plantene med å ta opp næringsstoffer (Evert & Eichhorn, 2013). Bakteriene her kan få overført ARG fra bakterier i slammet, og dermed kan det utvikle seg bakterier i jordsmonnet som kan bli tatt opp i planter (Ondon, Li, Zhou, & Li, 2021)

#### 2.8.3.2 Smittevei 2+9 – Fra planter til dyr og fra dyr til mennesker

Planter som har tatt opp antibiotika eller ARB/ARG kan sannsynligvis akkumulere disse, og da planter blir spist av landbruksdyr, vil disse dyrene kunne ta opp disse bakteriene og akkumulere dem i kroppen, enten ved at antibiotika blir tatt opp av bakterier i fordøyelsen til dyrene eller ARB bakterier overlever fordøyelsen til dyrene og viderefører ARG til bakteriene her (VKM, 2020). Dyrene sin avføring kan igjen bli spredd på jordet, enten ved gjødsling eller vanlig avføring, og kan dermed spre ARG enda mer.

Man kan også risikere og spise kjøtt fra dyr, som har fått en infeksjon av en ARB, og som vi dermed kan bli smittet av gjennom å spise dyret. Enten ved at dyret har blitt smittet fra et annet dyr, eller ved opptak av ARB gjennom kosten (VKM, 2020)

Grunnet det høye forbruket av antibiotika i landbruket, er det i seg selv en stor risiko for utvikling av ARB som kan smitte over til mennesker.

#### 2.8.3.3 Smittevei 3 – Fra Planter til mennesker

Et vanlig kosthold inneholder både planter og dyr. Planter vi spiser i form av grønnsaker eller kornprodukter, kan være prosessert eller uprosesserte. Uprosesserte grønnsaker kan ha tatt opp ARG/ARB som igjen kan spre seg i kroppen vår og gi infeksjoner og sykdom (VKM, 2020). Noen plantevernmidler kan også inneholde antibiotika, som gjør at bakterier i planten i seg selv også kan utvikle ARG (Mann, Nehra, Rana, & Dahiya, 2021).

#### 2.8.3.4 Smittevei 4 – Direkte fra jordsmonn til mennesker

Figur 21 viser også at det er mulig å ta opp stoffer direkte fra jordsmonn. Dette er vanligvis ikke noe normalt næringsopptak for mennesker, men barn kan ta opp bakterier og antibiotika fra jordsmonn i form av å spise jord (VKM, 2020)

#### 2.8.3.5 Smittevei 5+6 – Fra jordsmonn til vann og fra vann til mennesker

Grunnet erosjon kan organismer og antibiotika bli vasket ut og bli ført til bekker, vann, sjø og grunnvann. Hvor bakterier i vannet kan få overført ARG, og igjen formere seg og bli tatt opp av organismer i vannet. Drikkevannskilder som blir infisert med antiresistente organismer, kan også være en kilde til opptak av ARB som kan gi mennesker sykdom. Manglende drikkevannsrensing kan øke denne risikoen betraktelig (VKM, 2020). Mennesker bruker også vann til rekreasjon, og også på denne måten kan det være mulig å få i seg bakterier (FHI, 2022)

#### 2.8.3.6 Smittevei 7 + 8 – Fra vann til fisk til mennesker

En annen viktig kilde til næringsstoff er fisk. Fisk kan leve i bekker og vann som kan ha stor konsentrasjon av ARG, og dermed ta opp dette i kroppen. Fisk kan også spre disse genene

over store avstander, om de vandrer fra vassdrag, og smitter fisk flere steder. Mennesker lever av fisk, både fra oppdrettsanlegg, hvor bruken av antibiotika også er utbredt, men synkende (NORM-VET, 2018). Fiske kan også foregå i vassdrag som ligger nær landbruksjord, som har blitt utsatt for mye erosjon, og dermed mulighet for at fisk i disse vassdragene har tatt opp ARG.

#### 2.8.3.6 Smitte mellom mennesker

Smitte mellom mennesker er også en kilde til spredning av AMR. Dårlig hygiene og hygieniske forhold kan føre til at ARB fra både munn og tarm fra en syk person eller bærer kan spre seg til andre mennesker. Grunnet økt globalisering, er det ikke slik at et utbrudd av ARB i en fjern del av verden er isolert her, reising og handel fører til at en slik spredning kan spre seg til hele verden om en smittet person skulle reise flere steder og spre sykdommen. Økt reising, ulik praksis i antibiotika bruk i ulike land og ulike strategier for å bekjempe AMR, gjør denne formen for spredning til en stor global risiko (Binns, 2022)

#### 2.8.3.6 Fjerning av ARG fra avløpsvann

Egne metoder for fjerning av ARB og ARG i avløpsvann og drikkevann er ikke særlig utbredt som et eget trinn i renseprosessene (VKM, 2020). Alternativene er foreløpig få, men det finnes muligheter for å redusere eller fjerne disse organismene fra vannet før det blir brukt videre. I en kinesisk studie fra 2021 ble effekten av klor sammenlignet med koking av vann undersøkt for å se på effekten av ARG fjerning i vannet. Studien viste at klor hadde noe effekt på ARG, men skadet ikke DNA nok til at alle gener som bar ARG ble skadet. Koking med høy temperatur ( $>90^{\circ}\text{C}$ ) med høy intensitet var det eneste som fungerte for å fjerne ARG helt (Wan, et al., 2021).

Membraner kan være et alternativ som behandling for å fjerne ARB og ARG fra vann, ved å bruke rett filtreringsmetode i behandlingsprosessen. MF viser seg å stoppe de minste formene for bakterier, så ARB er mulig å fjerne på denne måten (Se 2.7.1 Filtrering/Siling). Et plasmid-DNA fra en bakterie har en størrelse på omtrent 0,0475 til 0,0743  $\mu\text{m}$ , noe som skal være mulig å stoppe med bruk av UF – teknologi (Shewermer, Krzeminski, & Uhl, 2022). Ved bruk av mindre porer i membranene, kreves høyere trykk, og dermed må mer energi investeres i vannresningen (Nesse, 2022). Alternativt vil RO være en effektiv måte å fjerne både ARB og ARG fra vannet, da det i prinsippet kun er vannmolekyler som slipper gjennom en slik filtrering, men dette vil igjen kreve store mengder med energi (Gholami, Mirzaei, Kalantary, Sabzali, & Gatei, 2012)



## 2.9 En – helseperspektivet

For at den globale folkehelsen skal ha en bærekraftig framtid, mener WHO at man i takt med den globale samfunnsutviklingen at man må tenke helhetlig når man diskuterer helserelevante utfordringer. En helseutfordring et sted i verden, er en helseutfordring for hele verden, noe som er blitt illustrert de siste årene med COVID – 19 pandemien. WHO arbeider derfor for at politikk, utviklingsprogrammer, lover og forskning skal basere seg på et En – helse perspektiv. Tankegangen er at man ulike sektorer må samarbeide, for at den globale helsen til dyr, planter og mennesker skal være så god som overhodet mulig (WHO, 2022).

En - helse perspektivet baserer seg på at en sektor alene ikke kan løse problemer knyttet til blant annet matsikkerhet, hindring av sykdomsoverføring fra dyr til mennesker og utvikling av antibiotika resistens. Skal man for eksempel redusere risikoen for utvikling av ARG, nytter det ikke at legene slutter å skrive ut antibiotika til pasienter, når landbruket fortsetter den omfattende bruken. En – helse perspektivet baserer seg på et bredt samarbeid mellom sektorer, fagområder, og på tvers av landegrensene. For å oppnå dette må man ha økt kommunikasjon, vilje til å samarbeide og evne til å koordinere mellom bransjer og land (FHI, 2022)

## 3. Diskusjon

### 3.1 Vannets sirkulærøkonomi

Med den økende befolkningsveksten, vil det på sikt føre til økt befolkningstetthet og mer press på verdens vannressurser. Den dominerende tankegangen med forvaltning av drikkevannsressurser i dag følger en *lineærøkonomisk tankegang* (Delgado, Rodriguez, Amadei, & Makino, 2021). Vann blir hentet fra drikkevannskilder, renses til tilstrekkelig kvalitet for forbruk, og blir så distribuert ut til forbruker som enten er menneske, landbruk eller industri. Avløpsvannet som oppstår etter forbruket blir så renses for forurensninger og næringsstoffer, før det blir sluppet ut igjen i naturen, for å så kunne tas opp igjen i vannets kretsløp, så lenge infrastrukturen ligger til rette for slik rensing.

Omtrent 80 prosent av alt avløpsvann i verden blir ikke renses, men blir sluppet ubehandlet ut i naturen, gjerne på grunn av manglende infrastruktur, investeringer og politisk vilje til dette (Delgado, Rodriguez, Amadei, & Makino, 2021). Bruken av vann i en sirkulær økonomi har høyt potensiale, da vann er livsnødvendig for de fleste levende organismer, samt at avløpsvann har en høy konsentrasjon av næringsstoffer, som kan brukes flere steder i verdikjeden, samt avløpsvannet har en egenverdi i seg selv av å være vann.

Med rett infrastruktur og teknologi på plass, kan man med en sirkulær økonomisk tankegang med vannforvaltning, ikke bare sikre tilgangen på drikkevann til flere mennesker, hvor det er begrenset tilgang. Det er også muligheter for å gjenvinne livsnødvendige næringsstoffer og fornybar energi som kan bidra til reduserte klimagassutslipp. Men ingenting er uten risiko, teknologien som eksisterer i dag gjør at det bør stilles spørsmålsteget til innføringen av sirkulær økonomisk tankegang av vannressurser. Det økende problemet med antimikrobiell resistens og spredning av dette, vil potensielt få en forsterkning, da vannet både kan være bærer og inkubator for en slik utvikling. Selv om innføring av sirkulær økonomi av vann kan vise seg å være strengt nødvendig for å oppnå en bærekraftig utvikling for jorden vår, kan det også være en akselerator for en utvikling som kan være skadelig for folkehelsen i verden.

### 3.2 FNs Klimarapport 2022

Den 28. februar i 2022 publiserte FNs klimapanel sin siste rapport. Konklusjonen i rapporten er klar, tiltak må til for at verdens befolkning skal kunne sikre seg en bærekraftig fremtid (IPCC, 2022). Økte utslipp av klimagasser vil føre store forandringer i økosystemer og landområder, mer ekstremvær som flom eller tørke, noe som vil kunne ha store konsekvenser for verdens tilgang på drikkevann og landbruksområder. Tørke vil kunne ødelegge fruktbar landbruksjord og tørke ut overvannsdrikkevannskilder. Eventuell tørke vil også kunne føre til

økt forbruk av grunnvannsreserver til vanning, for å kunne opprettholde landbruket. Områdene som vil bli hardest rammet er også områdene med høyest tetthet av fattig befolkning (IPCC, 2022).

Tilgangen på rent drikkevann er allerede en stor global krise, og denne kan bli ytterligere forverret med økte klimaforandringer. Med den potensielle risikoen for mangel på drikkevann, er behovet for en bedre utnyttelse av verdens tilgjengelige drikkevannskilder nødvendig. Gjenbruk av vann vil derfor kunne være avgjørende for at mennesker skal kunne ha en tilstrekkelig tilgang på rent drikkevann. Gjenbruk kan være at man klarer å fange opp vann etter det er brukt, enten i form av overskuddsvann etter vanning i landbruket, eller ved å rense avløpsvann tilstrekkelig rent til at det kan gjenbrukes som drikkevann, slik det gjøres flere steder i verden allerede, som for eksempel i Singapore og San Diego (UNESCO, 2022).

Rapporten oppgir også at flom og oversvømmelser vil forekommer hyppigere i fremtiden med økte klimaforandringer. Slike naturkatastrofer kan ha store konsekvenser for tilgangen til rent drikkevann, ved at erosjon kan føre til massiv forurensing og ødeleggelse av drikkevannskilder. Store flomkatastrofer kan også potensielt føre til massiv erosjon av landbruksområder, og fjerne mye av næringsstoffene som er nødvendig. Dette vil føre til økt behov for kunstig gjødsling av landbruksområder, noe som vil kreve store mengder ressurser tilført til jorden, som kan tilføres som slam eller produsert kunstgjødsel.

Med en økt etterspørsel etter gjødsel, vil man fort møte på en annen krise, nemlig en global matvarekrise. Uttaket av mineralsk P til gjødselproduksjon de siste 100 årene har vært veldig voksende, og har en fortsatt stigende trend (Se 2.5.3 Tilgang på fosfor). Som en konsekvens av dette, har gjødselprisene økt, og med gjødselprisen, matvareprisen. Ifølge FAO sin Matvareprisindeks nådde prisen på global basis sitt hittil høyeste nivå i februar 2022, med en stigende trend (FAO, 2022). Med en potensiell global matvarekrise, en global drikkevannskrise, minkende tilgang på gjødsel til landbruket, kombinert med mer ekstremvær, og et enda større behov for disse ressursene, vil økt gjenbruk og mer bruk av sirkulær økonomi være helt nødvendig for at menneskeheten skal kunne opprettholdes på dagens nivå også i fremtiden.

### 3.3 Fordeler og nødvendigheter med vannets sirkulære økonomi

Det er flere aspekter som gjør det nødvendig å innføre en sirkulær tankegang med forvaltning av vannressurser. Det ventede underskuddet på P, vil gjøre det helt nødvendig å forvalte jordens fosforressurser på en annen måte enn dagens lineærøkonomiske måte. Avløpsvannet

har vist seg å være en god kilde til P, og med rett bruk av rensemetoder, kan denne da benyttes igjen, som for eksempel til gjødsel. Skal vi kunne opprettholde dagens matvareproduksjon, og eventuelt øke den, med en økende befolkningsvekst, trenger vi en ny, «fornybar kilde», til det ikke – fornybare stoffet fosfor.

P er et stoff som ikke har noen erstatningsstoffer i landbruket (Se 2.5.1 Fosfor som næringsstoff for mennesker og (2.5.2 Fosfor som næringsstoff for planter). Stort sett alle levende organismer sin biologi er basert på P som byggestein i blant annet DNA og som energibærer i ATP. Dette gjør at vi ikke kan bytte det ut med andre stoffer når vi går tomme, slik som det er mulig å gjøre med energikilder, når man går fra ikke – fornybar til fornybare energikilder. Selv om det er høyst usikkert om når verdens fosfortilgjengelighet vil bli sterkt begrenset, tallene spriker fra 10 til 2000 år (Se 2.5.3 Tilgang på fosfor), vil det å redusere bruken av mineralsk P, og heller gjenvinne det, ha flere fordeler. Utvinning av mineralsk P foregår med gruvedrift, en industri som krever mye energi og dermed kan stå for store utslipp av CO<sub>2</sub>. Biproduktene fra fosforproduksjon er også giftig, og kan føre til miljøskader og forurensing av vannkilder (Se 2.5.4 Fremstilling av fosfor).

Flere viktige næringsstoffer enn P kan utvinnes fra avløpsvann. Nitrogen som også er et viktig næringsstoff for planter og dermed en viktig bestanddel i gjødsel som tilføres jordsmonn hvor man skal drive landbruk. I motsetning til P, som er en ikke – fornybar ressurs, da det ikke er til stede i atmosfæren, sørger nitrogensyklusen for at N kan betraktes som en fornybar ressurs (Se 2.4.5.1 Nitrogen). Selv om N er fornybart og planter kan ta opp en del fra jordsmonn ved hjelp av nitrogenfikserende bakterier, er det allikevel ikke alltid nok N i jordsmonnet, og gjødseltilførsel trengs. N til gjødsel produseres ved hjelp av ammoniakk, som igjen blir produsert ved hjelp av den energikrevende Haber – Bosch prosessen. På verdensbasis er produksjonen av ammoniakk som kan brukes iblant annet gjødsel, den enkeltstående kjemiske prosessen som står for mest CO<sub>2</sub> utslipp. Ved å heller utvinne N fra blant annet avløpsvann, kan man potensielt kutte i bruken av Haber – Bosch, og dermed kutte i klimagassutslipp. Dette er noe som bør gjøres, da det er i tråd med FNs Bærekraftsmål 13, som er å kutte i klimagassutslippene (FN sambandet, 2021).

Å hente ut ressurser som P og N fra avløpsvann og gjenbruke det i gjødsel vil være helt i tråd med den sirkulær økonomiske tankegangen. Resirkulering av P kan, hvis verstefallsscenarioet om at det er tomt for P i verden om noen tiår, ikke bare være fordelaktig med tanke på klimagassutslipp og mindre forurensing fra avfall, men være helt nødvendig, for at vi skal kunne ha en sikker tilgang som kan forsyne landbruket med gjødsel.

Ved en sirkulær økonomisk tankegang for vann, som illustrert ved å resirkulere P, men også N, vil da ikke bare sikre mer bærekraftig tilgang på nødvendige næringsstoffer, det vil kunne redusere eutrofiering i vann og sjø (Se 2.5.2.1 Kunstgjødsel), samt redusere verdens klimagassutslipp betraktelig. Grep som vil være helt nødvendige og i tråd med flere av FNs bærekraftsmål (Se 2.1.2 FNs Bærekraftsmål)

Innen 2050 antar man at urbaniseringen og tettheten i byområder i verden vil være nærmest fordoblet i forhold til dagens nivå. Dette vil føre til at man må tenke alternativt til dagens vannforsyning, og økt bruk av avløpsvann som drikkevann bør dermed implementeres for å kunne forsyne en slik vekst av mennesker (Delgado, Rodriguez, Amadei, & Makino, 2021). Innføring av sirkulær økonomi for vann har også potensialet til å supplere de hardt pressede områdene i verden som har begrenset tilgang på drikkevann, med tilstrekkelig rensing i henhold til WHO sine krav om hva som kvalifiserer til rent drikkevann (WHO, 2017).

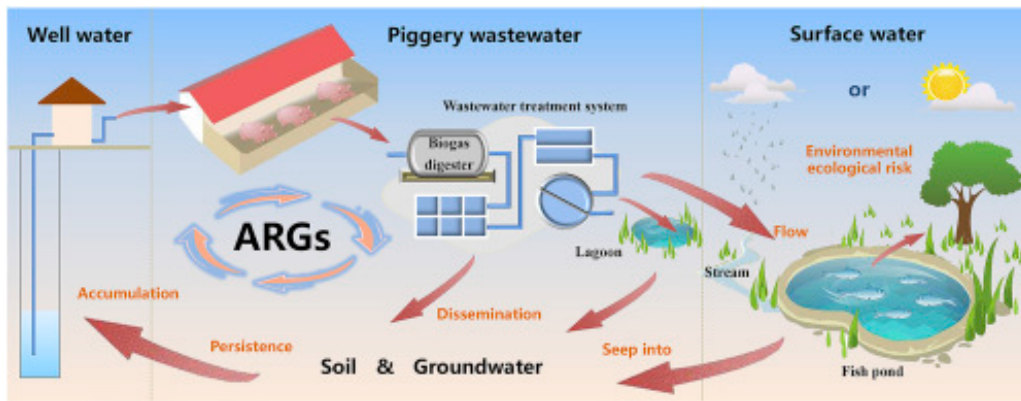
### 3.4 Optimal fosforfjerning og utvikling av AMR

For optimal utnyttelse og resirkulering av ressurser, er den sirkulær økonomiske tankegangen at man skal benytte seg av den best mulige teknologien, for å kunne hente ut og gjenbruke mest mulig (Miljødirektoratet, 2021). Tradisjonelt har man fjernet stoffer som N og P fra avløpsvannet for å unngå utslipp som har ført til eutrofiering. Den effektive måten å fjerne P på har vært med kjemisk felling med Fe eller Al. Man har da klart å fjerne mesteparten av fosforet i avløpsvannet, men det har til gjengjeld vært lite tilgjengelig for gjenbruk i nye produkter (Se 2.6.3 Kjemisk rensing og 2.6.6 Utfordringer ved slam fra avløpsrensing i landbruket). Den mest effektive metoden for å utvinne P som igjen er tilgjengelig for videre bruk iblant annet gjødselproduksjon og landbruk, er ved EPBR. Da benytter man seg av anaerobe bakterier, og utnytter deres metabolisme til å øke sin egen biomasse, ved at de bryter ned fosfor i avløpsvannet. Slike bakterier lever i biofilmer, hvor sjansen for HGO mellom bakterien er stor (Se 2.8.2 Antiresistente bakterier i avløpsvann). Ved den økte bruken av bakterier, vil man da i avløpsvannet risikere at ARB og ARG som kommer inn til renseanlegget vil kunne formere seg og spre ARG ved HGO. På denne måten vil mengden biomasse som er bærer av ARG kunne formere seg kraftig, og kunne utgjøre en stor risiko for folkehelsen om den videre behandling av disse bakteriene ikke blir behandlet på en riktig måte. Ved en sirkulær økonomisk tankegang skal man bruke alle ressursene i vannet, og også vannet i seg selv. Ved økt bruk av resirkulering av ressursene i vannet, er det tenkelig at det kan føre til en økt spredning av ARB i hele næringskjeden. Det er allerede kjent i dag at det blir spredt mye antibiotika fra avløpsvann og avløpsrenseanlegg, som igjen kan bli tatt i

planter, mennesker og dyr (Se 2.8.3 Kjente eksponeringsveier for ARG). Ved en økt bruk av rensemetoder som fremmer økt bakterievekst, vil det også være sannsynlig at risikoen for utvikling og spredning av AMR vil være økende.

Avløpsvann som i sirkulær økonomien skal gjenbrukes som drikkevann vil kunne potensielt utgjøre en stor trussel om ikke dagens rensemetoder fungerer optimalt. Fjerning av AMR med klor, som er en vanlig desinifiseringsmetode i drikkevann, har vist seg å ikke være effektiv for fjerning av ARG og ARB i drikkevann (Se 2.8.3.6 Fjerning av ARG fra avløpsvann). Det finnes studier som viser at med rett behandling av vannet som går ut av rensenanlegget har man mulighet for å fjerne størsteparten av ARG i vannet (Shewermer, Krzeminski, & Uhl, 2022). Men det er enten energikrevende (koking av avløpsvannet) eller kostbart (bruk av membraner og RO). Dette kan være en hindring som kan senke mulighetene for å få til innføring av sirkulær økonomi på verdensbasis, da teknologien som kreves for å kunne utnytte ressursene i avløpsvannet og samtidig kunne gjenbruke vannet i drikkevannskilder, kan være for kostbar eller vanskelig å implementere i områder som har mindre god infrastruktur eller økonomisk vilje til å gjennomføre de nødvendige investeringene. Samtidig vil det med dagens klimaforandringer vise seg å være nødvendig å være sirkulær økonomisk for å skaffe nok drikkevann og samtidig utvinne de nødvendige næringsstoffene for å kunne drive med et effektivt jordbruk. Konsekvensen av å ikke rense vannet tilstrekkelig, vil være å forsterke og skape nye potensielle smitteveier for AMR inn til oss mennesker.

Nye potensielle smitteveier kan være at man i U – land, hvor man ikke har tilgang på effektiv infrastruktur for avløpsrensing i stor skala eller med store rensenanlegg hvor man kan implementere ny teknologi, kan oppstå utilstrekkelig rensing av vannet. Ved utvinning av næringsstoffer fra dette avløpsvannet, og videre gjenbruk av rensed vann til irrigasjon i landbruket og drikkevann, kan man øke spredning av AMR (Kampouris, et al., 2021), på en mer omfattende måte som ikke foregår i dagens lineær økonomiske tankegang. Mat fra landbruket kan med sirkulær økonomi, motta ARG fra både irrigasjon, slam brukt til gjødsling og fra dyr som beiter på disse områdene, og akkumulerer stoffene i kroppen, og sprer de videre til mennesker (Huang, et al., 2019). Et problem som kan skje i mindre skala områder med sirkulær økonomi er gårder som benytter seg av dårlig beskyttede vannkilder som brønner og grunnvannskilder. Disse vannkildene blir opprettholdt med tilsig fra omkringliggende områder, som illustrert i Figur 22, hvor en liten gård med et mindre vannrensanlegg gjenbraker vannet til drikkevann for gårdsdyr og vanning av jorder (Huang, et al., 2019).



Figur 22 Potensiell spredning av ARG i mindre gårdsbruk ved sirkulær økonomisk bruk av vann (Huang, et al., 2019)

Ligger vannkilden i nærheten av et jordet, hvor det har blitt vannet med vann som inneholder ARG eller ARB, kan dette under de rette forholdene emigrere til brønnen, som igjen blir brukt til vanning og drikkevann. Så kan det tenkes at konsentrasjonen av ARG vil øke om det går i et lukket kretsløp slik som illustrert i Figur 22 (Huang, et al., 2019).

### 3.5 Globale utfordringer med sirkulær økonomi for vann

Selv om sirkulær økonomi av vann har mange gunstige fordeler med tanke på globale kriser som drikkevannsmangel, fosformangel og reduksjon av klimagassutslipp, vil innføringen av et slik tanke sett på global basis være utfordrende. Ved å gjenbruke vann, er man nødt til å ha en fungerende infrastruktur, for å kunne gi det tilstrekkelig behandling til at vannet og ressursene i vannet kan gjenbrukes. Dette punktet alene gjør at det å innføre en global standard for sirkulær økonomisk tankegang med vann, vil være utfordrende. Ifølge FN blir 80 % av alt avløpsvann i verden sluppet ut direkte i naturen, uten noe form for behandling. Dette betyr at omtrent 1,8 milliarder mennesker bor i områder hvor drikkevannskildene deres blir direkte forurenset med avføring og mikroorganismer (UN Water, 2022). Behovet for en tilfredsstillende infrastruktur for avløpsvann og tilstrekkelig rensing av dette bør være en høyere prioritet enn behovet for å gjenbruke alle ressursene i vannet. Ved å rense avløpsvann istedenfor å slippe det ut, vil kunne skape flere trygge drikkevannskilder. Dette krever massive investeringer. Ifølge den Norske interesseorganisasjonen Norsk Vann, vil det bare i Norge være behov for investeringer for omtrent 550 milliarder kroner i årene fremover, for å ha et tilstrekkelig godt vann- og avløps nett (Norsk Vann, 2022). Disse enorme investeringene trengs i et land, hvor både økonomien, politikken og infrastrukturen er på plass. Nøyaktige tall på hvilke summer som kreves for å investere i U – land som har manglende sanitærforhold, er ikke å få oppdrevet. Men når 80 % av verdens avløpsvann trenger et system å kjøres gjennom, er det naturlig å anta at å utbedre dette vil kreve enorme satsinger og summer, bare for å oppnå tilstrekkelig avløpsrensing og infrastruktur. Ved å i tillegg utnytte og gjenbruke vann

og ressurser fra avløpsvannet, innen 2030, som FNs bærekraftsmål sikter mot, vil mest sannsynlig være tilnærmet umulig å oppnå.

Skal man klare å oppnå et bærekraftig gjenbruk av vann og ressurser, vil det også trenge mer avansert avløpsrensing for å fjerne AMR – organismer fra avløpsvannet, slik at man ikke kontaminerer drikkevann eller forsterker allerede utsatte smitteveier for slike organismer. For selv om forskning viser at avløpsreanseanleggene reduserer mengden AMR i utslippene i dag, blir ikke alt fjernet (Shcwermer, Krzeminski, & Uhl, 2022). Når man allerede mangler den grunnleggende rensingen, bør dette være et sterke fokusområde å kunne rense vannet tilstrekkelig, enn det å gjenbruke vannet.

Skal man derimot klare å utvikle en samlet global tankegang om sirkulær økonomi for vann, vil det kreves bred politisk og økonomisk enighet. Dette kan også by på en utfordring. Å legge om allerede bygget infrastruktur og gjøre en stort sett lineær økonomisk behandling av avløpsvann, sirkulær, vil det kreves investeringer. Disse investeringene vil komme på bekostning av noe. Behovet for å utbedre VA – nettet i Norge har en kostnad som tilsvarer en tredjedel av det Norske Statsbudsjettet for 2022 (1 576 milliarder) (Regjeringen, 2022), dermed må det politiske beslutninger til for å kunne utbedre nettet her i Norge. Slik vil det også være i andre land i verden, noen må ta beslutningen om å gjøre massive investeringer, prioritere investeringer som går på bekostning av noe annet. Det er da mulig at investeringer som trengs for å innføre sirkulær økonomi for vann, går ut over andre velferdstilbud, og kan bli sett på som upopulært. I de fleste demokratier, arbeider politikere på en slik måte, at de bli gjenvalgt. De politikerne som tar avgjørelsen for å kutte i velferdstilbud, mot å investere i sirkulære løsninger, vil kunne oppleve massiv motstand, selv om de vedtar investeringer som er nødvendige for å oppnå en bærekraftig fremtid. Konsekvensene kan være at de ikke får gjenvelg, og dermed vegrer seg for å gjøre slike grep. Selv om behovet er synlig og prekært for å gjøre store investeringer og prioriteringer, vil det gjerne ikke bli gjort, da politisk karriere kan trumfe det å «redde verden». Det er derfor viktig at man i samfunnet, ifølge FNs Bærekrafts delmål 12.8 (FN sambandet, 2021), både i arbeidsliv og i skolen har et klart fokus på å formulere viktigheten av bærekraftige løsninger. Ved aksept i verdens befolkning for at det er et prekært behov for å gjøre upopulære investeringer, som kan gå ut over befolkningens velferd, for at våre barn og barnebarn skal kunne leve et godt liv videre på kloden.

### 3.6 Sirkulærøkonomien og FNs Bærekraftsmål

For å kunne innfri FNs bærekraftsmål, må mange virkemidler tas i bruk på global basis. Et av virkemidlene som kan være med å bidra er da sirkulær økonomi av vann. Ved økt utvinning



av ressurser fra avløpsvann og gjenbruk som drikkevann, er potensialet stort til å bidra til flere mål. Blant annet vil det være en bidragsyter til mål 2, som omhandler å utrydde sult. Dette kan gjøres ved å gjenbruke fosfor, til produksjon av gjødsel, som kan brukes til matproduksjon. Mål 6 er rent vann og gode sanitærforhold til alle mennesker, med en global satsning på dette, kan man ved fornuftig bruk av vannressurser oppnå dette, om man klarer å etablere en infrastruktur eller utvikle teknologi som gjør dette tilgjengelig for mange. Ved en slik infrastruktur på plass, vil man også kunne skape bærekraftige byer og lokalsamfunn, som er mål nummer 11. Samtidig vil det kunne bidra til ansvarlig produksjon og forbruk som er mål nummer 12, ved at man gjenbraker ressurser, istedenfor å hente ut nye naturressurser. Da vil man kunne bidra til å redusere klimagassutslipp i energikrevende industrier som fosforutvinning og ammoniakkproduksjon, og dermed også bidra til å stoppe klimaendringene som er mål nummer 13. Et redusert utslipp av urensset avløpsvann vil også kunne bedre livet i havet flere steder, med redusert eutrofiering.

Økning i sirkulærøkonomien for vann vil kunne være en viktig bidragsyter til å oppnå disse målene, men det vil også kunne føre til direkte konflikt med minst et av de andre Bærekraftsmålene, God helse og livskvalitet. For ved økt og effektiv ombruk av avløpsvann, løper det en betydelig risiko ved utviklingen av AMR ved bruk av biologisk rensing av avløpsvannet. Ved en global satsning på biologisk fjerning av P fra avløpsvannet, vil risikoen for å utvikle AMR sannsynligvis øke drastisk, da det allerede er et anerkjent problem, og det kun er 20 % av avløpsvann som blir rensset i dag. Av dette, selv om det ikke var mulig å oppdrive nøyaktige tall, enda mindre som blir rensset biologisk for å utvinne næringsstoffer (Kok, et al., 2018).

Man kan altså ved å løse flere utfordringer som Bærekraftsmålene presenterer, utløse nye problemer. Man kan da bli nødt til å prioritere hva som er viktigst, tryggheten til den globale befolkningen sin folkehelse. Skal man kunne ha muligheten til å bekjempe potensielt dødelige sykdommer på global basis, med antibiotika, bør man da revurdere bruken av sirkulær økonomi for vann. Skal man ha en total sirkularitet for vannet, med gjenbruk, ressursutnyttning og energiutnyttning, bør man vurdere hvordan man skal løse dette på både en bærekraftig og trygg måte. Det er vanskelig å prioritere dette, hovedprinsippet til Bærekraftsmålene er at de mest sårbare skal prioriteres, men disse har både behov for rent drikkevann, gjødsel til matproduksjon, og en god helse med mulighet for effektiv behandling, da helsetilbudet verden over er høyst varierende (FN sambandet, 2021).

En mulig løsning på denne utfordringen, er at man globalt differensierer den sirkulær økonomien etter behov, geografi og økonomi. I Norge trenger man ikke gjenbruke drikkevannet, da man har en geografi og et klima som gjør det i stor grad mulig å fylle opp drikkevannskildene, samt en infrastruktur som gjør at man ikke trenger å gjenbruke avløpsvann som drikkevann. Da bør man heller satse på gjenbruk av ressursene man finner i avløpsvannet, slik som P, N og organiske forbindelser til energiproduksjon.

I land med mindre infrastruktur, klima som ikke innbyr til at vannets kretslop fyller opp drikkevannskilder, bør den primære prioriteringen være å sikre rent drikkevann til befolkning og landbruk, ved å bruke mindre biologiske rensemetoder. Bærekraftsmålene fremmer at de utviklede landene skal være med å bidra økonomisk i utviklingen av fattige land, dette kan da kanskje gjøres med subsidiert salg av gjødselprodukter og bidrag til utviklet av en mer effektiv infrastruktur for drikkevann og avløpsvann. Man bør altså resirkulere de ressursene man trenger, enn å tenke totalt sirkulært og gjenbruke alle ressurser.

### 3.7 Fremtidige perspektiver for vannets sirkulærøkonomi

Skal man ha en økt satsning på sirkulær økonomi av vann, er det noen hensyn som bør tas i betraktning og undersøkes og utvikles nærmere, før man foretar en global satsning på dette området. Både for å kunne gjøre rensing mer effektiv, men også fordi den kan utgjøre en stor risiko for den globale folkehelsen, da den vil legge til rette for økt utvikling av AMR, blant tiltakene som bør gjøres er:

- Øke satsningen og kunnskapen om En – Helse perspektivet, og gjør det til en naturlig del av utviklingen av ny politikk og teknologi.
- Innføre faste grenseverdier på mengden ARG og ARB av produkter som slipper ut fra et avløpsrenseanlegg. På denne måten vil man kunne redusere faren for å bli eksponert for dette gjennom de kjente smitteveien vi vet eksisterer i dag (Se 2.8.3 Kjente eksponeringsveier for ARG). Ved en slik fastsetting vil problemet høyst sannsynlig bli ytterligere belyst, som kan føre til mer forskning og teknologiutvikling.
- Globalt bør man, som det allerede er i gang med, å redusere bruken av antibiotika i landbruket og innen human medisin. For å bidra til å redusere utviklingen av AMR, slik at man med redusert risiko kan bruke biologisk rensing av avløpsvann på en trygg og effektiv måte, med mest mulig gjenbruk.
- Arbeide videre med utvikling av vannrenseteknologi som gjør det mulig å behandle store mengder avløpsvann på en god og effektiv måte, slik at man kan forsyne de stedene i verden som vil bli utsatt for mer tørke og ekstremvær, med drikkevann.

- Se på muligheten for i de land, hvor det ikke er et primært behov for drikkevann, å innføre krav om sirkularitet av ressurser som ligger i avløpsvannet, og på denne måten bidra til reduserte klimagassutslipp ved mindre behov for ressursutvinning på tradisjonelle måter.
- Innføre krav om at avløpsvann ikke skal slippes ut, men at det er et minimumskrav til gjenbruk av vannet, enten ved bruk av vannet i seg selv, eller ved å hente ut ressurser fra vannet.

## 4. Konklusjon

Denne oppgaven skulle undersøke hvordan sirkulær økonomi av vann kan være med å bidra til å løse flere av de globale krisene knyttet til vann – og matvaremangel, på en trygg og bærekraftig måte.

Sirkulær økonomi av vann har et stort potensiale for å bidra til å innfri flere av FNs Bærekraftsmål. Ved å utnytte vann man bruker flere ganger, vil man kunne redusere presset på de stedene i verden hvor presset er stort, og bidra til å sikre flere mennesker rent drikkevann. En økt bruk av sirkulær økonomi vil også bidra til å sikre tilgang på ikke – fornybart fosfor. Avløpsvann inneholder store mengder fosfor, som med bruk av biologiske rensemetoder, igjen kan bli tilgjengelig for planter. Sirkulær økonomien for vannet har da mulighet til å bidra til å løse flere globale kriser, som drikkevannsmangel, fosformangel og da også matvaremangel, om man sikrer en «fornybar» kilde til fosfor, og da kan bidra til å senke gjødselprisene.

En innføring av sirkulær økonomi av vann er derimot ikke uten utfordringer. I dag slippes 80 % av avløpsvann, urensset ut igjen i naturen, mye grunnet manglende infrastruktur og dårlig økonomi. En etablering av infrastruktur for riktig håndtering av avløpsvann vil ha en enorm økonomisk kostnad på verdensbasis. Sirkulær økonomisk tankegang vil også være en potensiell fabrikk for økt utvikling av antibiotikaresistens, da biologiske rensemetoder som gjør fosfor tilgjengelig for planter, også vil kunne fremme økt utvikling av ARG blant bakterier. Sirkulær økonomien kan potensielt redde oss fra sult og tørste, men også ta livet av oss, ved å øke risikoen for å gjøre dagens behandlingsmetoder ubrukelige.

Man bør derfor tenke i et En – Helse perspektiv når man skal ta beslutninger om innføring av sirkulær økonomi i avløpsvannhåndteringen, og heller vurdere om man skal tenke delvis sirkulært. Siden teknologien er slik den er, og alternativene til antibiotika i medisinsk behandling er mangelfulle, bør man tenke seg om to og tre ganger, før man gjør

sirkulærøkonomi av vann til en global satsning. For bærekraftig utvikling handler ikke bare om miljø og klima, men også en god global folkehelse.

## Kilder

- Abdersen, S., Gudbrandsen, M., Haugstad, K., Hartnik, T., & Klif. (2012). *Noen miljøskadelige stoffer i avløpsslam - forekomst og miljørisiko*. Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet.
- Adam, S., Bücker, C., Desguin, S., Madsen Vaage, N., & Saebi, T. (2017). Kapittel 4: Å bli en aktør i den sirkulære økonomien: Hvordan designe en sirkulær forretningsmodell? I C. Skjelsbæk Gramstad, S. Helland, & T. Saebi, *NYe forretningsmodeller i handelen - Innovasjon for en bærekraftig fremtid* (ss. 67-81). Oslo: Universitetsforlaget.
- Andersen, G. (2021, April 21). *bærekraftig utvikling*. Hentet fra Store norske leksikon - SNL: [https://snl.no/b%C3%A6rekraftig\\_utvikling](https://snl.no/b%C3%A6rekraftig_utvikling)
- Antibiotika.no. (2022, Mars 10). *Om antibiotika*. Hentet fra Antibiotika.no: <https://www.antibiotika.no/om-antibiotika/#:~:text=Det%20finnes%20mange%20typer%20antibiotika,p%C3%A5%20flere%20ulike%20bakterier%20samtidig>.
- Barlindhaug, J. (2022, Februar 24). *nitrogenfjerning*. Hentet fra Store norske leksikon - snl.no: <https://snl.no/nitrogenfjerning>
- Bechmann, M., Deelstra, J., Eggestad, H. O., Kløve, B., Stålnacke, P., Vandsemb, S., & Lillian, Ø. (200, Mars 2). *Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksarealer*. Ås: Senter for jordfaglig miljøforskning. Hentet fra NIBIO: <https://www.nibio.no/tema/miljo/jord-og-vannovervaking-i-landbruket/naeringsstoffer-og-erosjon>
- Bedin, T. (2022, Februar 26). *Nitrogenets kretsløp*. Hentet fra NDLA: <https://ndla.no/subject:13/topic:edd89aba-b208-4caa-bdb0-c8ca0300ce2d/topic:0be68ace-cbba-4934-b0a4-cc8e1eee9b63/resource:752c9d7b-1593-4c98-8fdc-0484711328ce>
- Binns, P. (2022, Mars 17). *Global travel and antibiotic resistance*. Hentet fra News Medical Life Sciences: <https://www.news-medical.net/health/Global-travel-and-antibiotic-resistance.aspx>
- Bjørnå, F. (2022, Februar 26). *flersidig gjødsel*. Hentet fra Store norske leksikon: [https://snl.no/flersidig\\_gj%C3%B8dsel](https://snl.no/flersidig_gj%C3%B8dsel)
- Bjørnå, F. (2022, Februar 24). *nitrogengjødsel*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/nitrogengj%C3%B8dsel>
- Boerner, L. K. (2019, Juni 15). Industrial ammonia production emits more CO<sub>2</sub> than any other chemical-making reaction. Chemists want to change that. *c&en Chemical & Engineer news*. Volume 97, issue 24, s. 18.
- Boye, E. (2019). *Sirkulær framtid - om skiftet fra lineær til sirkulær økonomi*. Oslo: Fremtiden i våre hender.
- Boye, N. C. (2013). *Kjemi og Miljølære - 4. opplag*. Oslo: Gyldendal Undervisning.
- Brezonik, P. L., & Arnold, W. A. (2011). *Water Chemistry*. New York: Oxford University Press.
- Bunce, J. T., Ndam, E., Ofiteru, I. D., Moore, A., & Graham, D. W. (2018). A Review of Phosphorus Removal Technologies and Their Applicability to Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Systems. *Frontiers in Environmental Science*, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00008/full>.

- Cho, R. (2022, Mars 17). *From wastewater to drinking water*. Hentet fra Columbia Climate School: <https://news.climate.columbia.edu/2011/04/04/from-wastewater-to-drinking-water/>
- Cordell, D., Drangert, J.-o., & White, S. (2009, Mai 1). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change, Vol. 19 Issue 2*, ss. 292-305.
- COWI. (2017). *Bedre utnyttelse av fosfor*. Oslo: Miljødirektoratet.
- Dahle, M., Haraldsen, M., & Ryssevik, J. (2020). Kapittel 16: Mot en bærekraftig verden. I M. Dahle, M. Haraldsen, & J. Ryssevik, *Fokus - Samfunnskunnskap* (s. 301). Oslo: Aschehoug Undervisning.
- de Wit, M., Haigh, L., von Daniels, C., & Christiansen, A. F. (2020). *The circularity gap report - Closing the Circularity Gap in Norway*. Oslo: Circle Economy and Circular Norway.
- Delgado, A., Rodriguez, D. J., Amadei, C. A., & Makino, M. (2021). *Water in circular economy and resilience (WICER)*. Washington: The World Bank and Global Water Security and sanitation partnership.
- Deloitte. (2020). *Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi: Delutredning 1 - Potensial for økt sirkularitet*. Oslo: Deloitte.
- Encyclopædia Britannica. (2022, Mars 7). *Activated sludge process*. Hentet fra Encyclopædia Britannica: <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment/Primary-treatment#/media/1/666611/19281>
- Energi og klima. (2021, September 24). *En varmere klode*. Hentet fra Energi og klima: <https://energiogklima.no/klimavakten/global-temperatur/>
- EPA . (2022, Mai 21). *Microirrigation*. Hentet fra EPA - United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/watersense/microirrigation#:~:text=Microirrigation%20is%20a%20low%20pressure,the%20root%20zone%20of%20plants>
- Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013). *Raven Biology of plants Eight Edition*. New York: W. H. Freeman and Company.
- FAO. (2021). *The State of the worlds landwater resources for food and agriculture - Systems at breaking point*. Roma - Italia: FAO - Food and agriculture organization of the United Nations.
- FAO. (2022, Mars 14). *FAO Food Price Index*. Hentet fra FAO World Food situation: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>
- FHI. (2022, April 3). *En-helse (One Health)*. Hentet fra Folkehelseinstituttet: <https://www.fhi.no/sv/smittsomme-sykdommer/smitte-fra-mat-vann-dyr/flere-artikler/en-helse/>
- FHI. (2022, Mars 8). *Normer, grenseverdier og standarder*. Hentet fra FHI folkehelseinstituttet: <https://www.fhi.no/ml/avfall-og-soppel/info-kommune-og-naring/normer-grenseverdier-og-standarder-for-avfall/>
- FHI. (2022, Mars 10). *Smittespredning gjennom badevann*. Hentet fra FHI.no Folkehelseinstituttet: <https://www.fhi.no/ml/badevann/smittespredning-gjennom-badevann/>

- FIVAS. (2022, Mars 2). *Landbruk tapper grunnvannet*. Hentet fra FIVAS - Foreningen for internasjonale vannstudier: <https://fivas.org/frontsak/landbruk-tapper-grunnvannet/>
- FN. (2022, Mars 2). *6 Rent vann og gode sanitærforhold*. Hentet fra Fn Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/rent-vann-og-gode-sanitaerforhold>
- FN Sambandet. (2021, Oktober 28). *Bærekraftig utvikling*. Hentet fra fn.no: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling>
- FN sambandet. (2021, Oktober 21). *FNs bærekraftsmål*. Hentet fra Fn Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- FN Sambandet. (2021, November 8). *Klimaendringer*. Hentet fra fn.no: <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
- FN Sambandet. (2022, April 9). *Ansvarlig forbruk og produksjon*. Hentet fra FN Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon>
- Fowler, S., Roush, R., & Wise, J. (2013). *Concepts of biology*. Houston: OpenStax.
- Gholami, M., Mirzaei, R., Kalantary, R. R., Sabzali, A., & Gatei, F. (2012, Desember 10). Performance evaluation of reverse osmosis technology for selected antibiotics removal from synthetic pharmaceutical wastewater. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, ss. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-19>.
- Glestad, H. E. (2014). *Gjenvinning av fosfor som struvitt ved Hias renseanlegg*. Ås: NMBU.
- Glestad, H. E. (2022, Mars 9). *Gjenvinning av fosfor som struvitt ved Hias renseanlegg*. Hentet fra NMBU BRAGE: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/199030/glestad2014.pdf?sequence=1>
- Grønberg, T., Hannisdal, M., Pedersen, B., & Ringnes, V. (2012). Kapittel 7: Reaksjonsfart og likevekt. I T. Grønberg, M. Hannisdal, B. Pedersen, & V. Ringnes, *Kjemien Stemmer 1* (s. 127). Oslo: Cappelen Damm.
- Hammer, M. J., & Hammer jr., M. J. (2001). *Water and Wastewater Technology 4th edition*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Hauge, J. G. (2022, Februar 26). *Fosfolipider*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/fosfolipider>
- Henriksen, S. D., Bøvre, K., & Smebye, M. L. (2022, Mars 10). *Antibiotika*. Hentet fra Store Medisinske Leksikon - Store Norske Leksikon: <https://sml.snl.no/antibiotika>
- Hofstad, K., Andersen, G., & Halleraker, J. H. (2021, August 16). *Økologisk fotavtrykk*. Hentet fra Store norske leksikon - SNL: [https://snl.no/%C3%B8kologisk\\_fotavtrykk](https://snl.no/%C3%B8kologisk_fotavtrykk)
- Huang, A., Yan, M., Lin, J., Xu, L., Gong, H., & Gong, H. (2021, Mai 5). A Review of Processes for Removing Antibiotics from. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, ss. 1-2.
- Huang, L., Xu, Y., Ling, J., Zheng, L., Zhou, X., & Xie, G. (2019, Mars 1). Dissemination of antibiotic resistance genes (ARGs) by rainfall on a cyclic economic breeding livestock farm. *International Biodeterioration & Biodegradation Volume 138*, ss. 114-121.

- IPCC. (2022). *Climate change 2022 - Impacts, Adaption and Vulnerability*. Geneve: IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Israel, B. (2022, Mars 2). *How much water is on Earth?* Hentet fra Livescience.com: <https://www.livescience.com/29673-how-much-water-on-earth.html>
- IVAR. (2022, Mars 8). *Slam blir til verdifulle ressurser*. Hentet fra IVAR.no: <https://www.ivar.no/slambehandling/>
- IVAR IKS. (2022, Februar 19). *Vi lager biogass*. Hentet fra IVAR: <https://www.ivar.no/biogass/>
- IWA. (2022, Mars 17). *Filtration Processes - Introduction*. Hentet fra The International water association Publishing - IWA: <https://www.iwapublishing.com/news/filtration-processes>
- Kallbekken, S. (2019, Oktober 9). *togradersmålet*. Hentet fra Store Norske leksikon - SNL.no: <https://snl.no/togradersm%C3%A5let>
- Kampouris, I. D., Agrawal, S., Orschler, L., Cacace, D., Kunze, S., Berendonk, T. U., & Klümper, U. (2021, April 1). Antibiotic resistance gene load and irrigation intensity determine the impact of wastewater irrigation on antimicrobial resistance in the soil microbiome. *Water Research Volume 193*, s. 116818.
- Kierulf, P., & Pedersen, B. (2022, Februar 26). *ATP*. Hentet fra Store medisinske leksikon - sml.no: <https://sml.snl.no/ATP>
- Kjensmo, J., & Hongve, D. (2022, Februar 26). *eutrofiering*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/eutrofiering>
- Klepp, I. G., Laitala, K., Tangeland, T., Throno-Holst, H., Vittersø, G., Hebrok, M., . . . Torjussen, H. (2018). *Forbruk og det grønne skiftet*. Oslo: Forbruksforsningsinstituttet SIFO.
- Klima- og forurensingsdirektoratet. (2012). *Noen miljøskadelige stoffer i avløpsslam - forekomst og miljørisiko*. Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet.
- Klima- og miljødepartementet. (2020). *Handlingsplan for sirkulær økonomi, 2020 - EØS notat*. Oslo: EU/EØS.
- Klima- og miljødepartementet. (2021, Desember 8). *Det grønne skiftet*. Hentet fra regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/det-gronne-skiftet/id2879075/>
- Kofstad, P. K., & Pedersen, B. (2022, Februar 26). *Fosfor*. Hentet fra Store Norske leksikon - SNL: <https://snl.no/fosfor>
- Kofstad, P. K., & Pedersen, B. (2022, Februar 24). *Nitrogen*. Hentet fra Store Norske Leksikon - snl.no: <https://snl.no/nitrogen>
- Kok, D.-J., Pande, S., Van Lier, J. B., Ortigara, Savenije, H., & Uhlenbrook, S. (2018, Nov 12). Global Phosphorus recovery from wastewater for agricultural reuse. *Hydrology and Earth System Sciences 22*, ss. 5781-5799.
- Landbruk.no. (2019, Desember 11). *Hvordan fungerer egentlig karbonkretsløpet?* Hentet fra Landbruk.no: <https://www.landbruk.no/biookonomi/hvordan-fungerer-egentlig-karbonkretsløpet/>



- Lim, J. (2022, Mars 2). *NEWater*. Hentet fra Singaporeinfopedia: [https://eresources.nlb.gov.sg/infopedia/articles/SIP\\_1555\\_2009-08-11.html#:~:text=NEWater%20refers%20to%20the%20high,clear%20and%20safe%20to%20drink%E2%80%9D](https://eresources.nlb.gov.sg/infopedia/articles/SIP_1555_2009-08-11.html#:~:text=NEWater%20refers%20to%20the%20high,clear%20and%20safe%20to%20drink%E2%80%9D).
- Loop - Stiftelsen for kildesortering og Gjennvinning. (2022, Mars 8). *avfallshierarki*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/avfallshierarki>
- Lovdata. (2022, Februar 19). *Forskrift om utslipp av sanitært avløpsvann fra mindre avløpsanlegg (bolighus, hytter og lignende) Paragraf 3. Definisjoner*. Hentet fra Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/LF/forskrift/2019-12-09-2202>
- MacRae, D. G. (2021, Desember 25). *Thomas Malthus - Britannica*. Hentet fra Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Thomas-Malthus>
- Mann, A., Nehra, K., Rana, J. S., & Dahiya, T. (2021, Desember 1). Antibiotic resistance in agriculture: Perspectives on upcoming strategies to overcome upsurge in resistance. *Current Research on Microbial Sciences - Voume 2*, s. 100036.
- Materialflows.net. (2022, Februar 10). *Domestic extraction of World in 1970-2019, by material group*. Hentet fra Materialflows.net: [http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations/?\\_inputs\\_&sidebar=%22bar\\_chart\\_1%22](http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations/?_inputs_&sidebar=%22bar_chart_1%22)
- Mathisen, G. (2022, Mars 2). *Avløpsvann kan bli godt drikkevann og drivstoff til bilen*. Hentet fra forskning.no: <https://forskning.no/biokjemi-energi-miljoteknologi/avlopsvann-kan-bli-godt-drikkevann-og-drivstoff-til-bilen/1704799>
- Miljødirektoratet. (2019). *Klimakur 2030*. Oslo: Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet. (2021, Mars 11). *Engangsprodukter i plast blir forbudt*. Hentet fra Miljødirektoratet: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2021/mars-2021/engangsprodukter-i-plast-bli-forbudt/>
- Miljødirektoratet. (2021, Juni 1). *Sirkulær økonomi*. Hentet fra Miljødirektoratet: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>
- Miljødirektoratet. (2022, Februar 26). *Miljøstatus - Overgjødsling*. Hentet fra Miljøstatus.no: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/forurensning/overgjodsling/>
- Nesse, N. (2022, Mars 17). *membranseparasjon*. Hentet fra Store Norske Leksikon - SNL: <https://snl.no/membranseparasjon>
- NIBIO - Norsk institutt for bioøkonomi. (2022, Februar 19). *Kildeseparerende løsninger*. Hentet fra NIBIO - Norsk institutt for bioøkonomi: <https://www.nibio.no/tema/miljo/mindre-avlop/rene-losninger/kildeseparerende-losninger>
- NIBIO. (2022, Februar 26). *Fosfor*. Hentet fra nibio.no: <https://www.nibio.no/tema/jord/organisk-avfall-som-gjodsel/fosfor#:~:text=Fosfor%20er%20et%20essensielt%20n%C3%A6ringsstoff,algevekst%20og%20gjengroing%20i%20ferskvann>.
- Nilsen, J. E. (2014, November 10). *VEAS er det skjulte gigantprosjektet som renser vannet til 600 000 nordmenn*. Hentet fra tek.no: <https://www.tek.no/artikkel/i/XgenPE/norges-stoersterenseanlegg>

- NORM-VET. (2018). *Usage of Antimicrobial Agents and Occurrence of Antimicrobial Resistance in Norway*. Tromsø/Oslo: NORM-VET.
- Norsk Vann. (2022, April 2). *Investeringsbehovet i kommunalt eide vann- og avløpsanlegg fortsetter å øke*. Hentet fra Norsk Vann: <https://norskvann.no/interessepolitikk/investeringsbehovet-i-vann-og-avlopsanlegg/>
- Norsk vann. (2022, Februar 19). *Utnyttelse av ressursene i avløpsslam*. Hentet fra Norsk vann: <https://norskvann.no/interessepolitikk/ressursutnyttelse-i-avlopsslam/>
- Norsk vann. (2022, Mars 17). *Vannbehandling*. Hentet fra norskvann.no: <https://norskvann.no/vannforsyning-og-drikkevann/vannbehandling/#:~:text=UV%2Dstr%C3%A5ling%20fjerner%20bakterier%20og,bruk%20av%20stadig%20flere%20vannverk.>
- Olerud, K., & Halleraker, J. H. (2021, Oktober 18). *grønt skifte - SNL*. Hentet fra Store norske leksikon - SNL: [https://snl.no/gr%C3%B8nt\\_skifte](https://snl.no/gr%C3%B8nt_skifte)
- Ondon, B. S., Li, S., Zhou, Q., & Li, F. (2021, Mai 5). Sources of Antibiotic Resistant Bacteria (ARB) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Soil: A Review of the Spreading Mechanism and Human Health Risks. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 256*, ss. 121-153.
- Opplysningskontoret for Meieriprodukter. (2022, Februar 26). *Hvorfor trenger jeg fosfor*. Hentet fra melk.no Opplysningskontoret for Meieriprodukter: <https://www.melk.no/Kosthold-og-helse/Melk-og-helse/Hvorfor-trenger-jeg-fosfor>
- Pandit, A. B., & Kumar, J. K. (2012). *Drinking Water Disinfection Techniques*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Pearce, F. (2022, Februar 28). *Phosphate: A Critical Resource Misused and Now Running Low*. Hentet fra YaleEnvironment360: [https://e360.yale.edu/features/phosphate\\_a\\_critical\\_resource\\_misused\\_and\\_now\\_running\\_out](https://e360.yale.edu/features/phosphate_a_critical_resource_misused_and_now_running_out)
- Petrovich, M., Chu, B., Wright, D., Griffin, J., Elfeki, M., Murphy, B. T., & Pretsky, R. W. (2018). Antibiotic resistance genes show enhanced mobilization through suspended growth and biofilm-based wastewater treatment processes. *FEMS Microbiology Ecology 2018, Vol. 94, No. 5*, 1-11.
- Rahman, M., Amran, M. R., & Ra, C. S. (2013, Oktober 21). Production of slow release crystal fertilizer from wastewaters through struvite crystallization - A review. *Arabian Journal of Chemistry(2014) 7*, ss. 139-155.
- Regjeringen. (2019). *Politisk plattform - Granavolden utgått av Høyre, Fremskrittspartiet, Venstre og Kristelig Folkeparti*. Granavolden: Høyre, Fremskrittspartiet, Venstre og Kristelig Folkeparti.
- Regjeringen. (2022, April 2). *Statsbudsjettet 2022: Statens inntekter og utgifter*. Hentet fra Regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/statsbudsjett/2022/statsbudsjettet-2022-statens-inntekter-og-utgifter/id2873448/>
- Reiersen, H. (2022, Mars 10). *Bredspektret antibiotika*. Hentet fra Store norske leksikon: [https://snl.no/bredspektrede\\_antibiotika](https://snl.no/bredspektrede_antibiotika)

- Schwermer, C. U., & Uhl, W. (2022, Mars 10). *Utslipp av antibiotikaresistensgener med*. Hentet fra Vannforeningen.no: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2019/04/Schwermer.pdf>
- Schärer, J. (2022, Mars 2). *Fortsatt overskudd av Fosfor*. Hentet fra forskning.no: <https://forskning.no/partner-bioforsk-forurensning/fortsatt-overskudd-av-fosfor/852864>
- Schwermer, C. U., Krzeminski, P., & Uhl, W. (2022, Mars 22). *Forekomst av antibiotikaresistensgener og fjerning av antibiotikaresistente E. coli i to norske avløpsrensaneanlegg*. Hentet fra Vannforeningen.no: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/07/Schwermer.pdf>
- Shih, K., & Yan, H. (2016). The Crystallization of Struvite and Its Analog (K-Struvite) From Waste Streams for Nutrient Recycling. I K. Shih, & M. Prasad, *Environmental Materials and Waste - Resource Recovery and Pollution Prevention* (ss. 665-686). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Shtull-Tauring, E., Cohen, A., Beb-Hur, M., Tanny, J., & Bernstein, B. (2020, November 1). Reducing salinity of treated wastewater with large scale desalination. *Water Research Volume 186*, s. 116322.
- Sirevåg, R. (2022, Februar 24). *nitrogenfiksering*. Hentet fra Store Norske leksikon - SNL: <https://snl.no/nitrogenfiksering#:~:text=En%20viktig%20nitrogenfikserende%20gruppe%20av,og%20da%20fikserer%20de%20nitrogen>.
- Spilde, I. (2022, Mars 2). *Verdens matproduksjon er avhengig av fosfor. Er vi i ferd med å gå tom?* Hentet fra Forskning.no: <https://forskning.no/landbruk/verdens-matproduksjon-er-avhengig-av-fosfor-er-vi-i-ferd-med-a-ga-tom/1655270>
- Staley, J. T. (2022, Mars 17). *Bacteria, Their Smallest Representatives and Subcellular Structures, and the Purported Precambrian Fossil "Metallogenium"*. Hentet fra NCBI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK224752/>
- Tiessen, H. (2008). Phosphorus in the global environment. I P. J. White, & J. P. Hammond, *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions* (ss. 1-9). Berlin: Springer.
- Townsend, A. R., Houlton, B. Z., & Vitousek, P. M. (2022, Februar 28). *The Climate Benefits of Better Nitrogen and Phosphorus Management*. Hentet fra Issues in Science and Technology 28, no. 2: <https://issues.org/townsend/>
- Trodal, M., & Hass, G. (2020, November 12). *Fra lineær til sirkulær økonomi*. Hentet fra IIA Norge: <https://iia.no/fra-lineaer-til-sirkulaer-okonomi/>
- Turner, B. L., & Raboy, V. (2022, Februar 28). *Phosphorus cycle*. Hentet fra accessscience.com: <https://www.accessscience.com/media/EST/media/YB030535PV0001.pdf>
- Tønjum, T., & Otterholt, E. (2022, Mars 10). *Antibiotikaresistens*. Hentet fra Store medisinske leksikon - store norske leksikon: <https://sml.snl.no/antibiotikaresistens>
- Tønnesen, M. (2022, Januar 3). *Demografisk overgang*. Hentet fra Store Norske Leksikon - SNL.no: [https://snl.no/demografisk\\_overgang](https://snl.no/demografisk_overgang)
- Tønnesen, M. (2022, April 9). *Verdens befolkning*. Hentet fra SNL.no: [https://snl.no/verdens\\_befolkning](https://snl.no/verdens_befolkning)

- UN News. (2022, Mars 2). *UN launches drive to highlight environmental cost of staying fashionable*. Hentet fra UN News: <https://news.un.org/en/story/2019/03/1035161>
- UN Water. (2022, April 2). *Water Quality and Wastewater*. Hentet fra United Nations - UN Water: <https://www.unwater.org/water-facts/quality-and-wastewater/#:~:text=Globally%2C%2080%25%20of%20wastewater%20flows,%2C%20dysentery%2C%20typhoid%20and%20polio>.
- UNESCO. (2022, Mars 14). *Is wastewater the new black gold?* Hentet fra Unesco.org: <https://en.unesco.org/news/wastewater-new-black-gold>
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2016). *The United Nations world water development: water and jobs*. Paris: FN.
- United Nations - UN Water. (2021). *Summary Progress Update 2021: SDG 6 water and sanitation for all*. Genev - Sveits: UN-Water.
- United Nations. (2022, Februar 3). *The Paris Agreement*. Hentet fra un.org: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>
- United Nations. (2022, April 10). *UN climate report: It's "now or never" to limit global warming to 1.5 degrees*. Hentet fra United Nations: <https://news.un.org/en/story/2022/04/1115452>
- United Nations Global Compact. (2022, Februar 3). *Bærekraftsmålene*. Hentet fra United Nations Global Compact: [https://globalcompact.no/barekraftsmalene/?gclid=EAlaIqobChMIq7bqtYfj9QIV\\_ZBoCR1GeQyqEAAyAIAAEgKtpPD\\_BwE](https://globalcompact.no/barekraftsmalene/?gclid=EAlaIqobChMIq7bqtYfj9QIV_ZBoCR1GeQyqEAAyAIAAEgKtpPD_BwE)
- United Nations Global Compact. (2022, Februar 10). *Mål 12: Ansvarlig forbruk og produksjon*. Hentet fra United Nations Global Compact: <https://globalcompact.no/barekraftsmal/mal-12-ansvarlig-forbruk-og-produksjon/>
- USGS. (2022, Mars 3). *Where is Earth's Water?* Hentet fra USGS - U.S Geological Survey: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/where-earths-water>
- Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., & Laxminarayan, R. (2015, Mai 5). Global trends in antimicrobial use in food animals. *PNAS Vol. 112 No. 18*, ss. 5649-5654.
- Van Kauwenberg, S. J. (2010). *World Phosphate Rock Reserves and Resources*. Muscle Shoals - Alabama: International Fertilizer Development Center - IFDC.
- VKM . (2009). *Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on Norwegian soils*. Oslo: VKM - Vitenskapskomiteen for mattrygghet.
- VKM. (2020). *Assessment of the impact of wastewater and sewage sludge treatment methods on antimicrobial resistance*. Oslo: Vitenskapskomiteen for mat og miljø.
- Vråle, L., & Thaulow, H. (2022, Mars 7). *vannrensing*. Hentet fra Store norske leksikon - SNL: <https://snl.no/vannrensing>
- Vu, M.-H., Do, T.-O., & Mohan, S. (2018, Desember 4). Insights into the Recent Progress and Advanced Materials for Photocatalytic Nitrogen Fixation for Ammonia (NH<sub>3</sub>) Production. *MDPI Open Access Journals*, ss. 1-25.

- Wan, K., Zheng, S. Y., Zhang, Y., Dao, H., Chen, S., & Yu, X. (2021, November 28). Ancient Oriental Wisdom still Works: Removing ARGs in Drinking Water by Boiling as compared to Chlorination. *Water Research* 209, s.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421010964>.
- White, P. J., & Hammond, J. P. (2008). Phosphorus nutrition of terrestrial plants. I P. J. White, & J. P. Hammond, *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions* (ss. 83-117). Berlin: Springer.
- WHO. (2017). *Guidelines for Drinking - Water quality - 4th Edt.* Geneva: WHO.
- WHO. (2022, April 3). *One health*. Hentet fra World Health Organization: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/one-health>
- Wildon. (2022, Mars 17). *How is wastewater turned into safe drinkingwater?* Hentet fra wildon.co.uk: <http://www.wildonuk.co.uk/news/how-is-wastewater-turned-into-safe-drinking-water/#:~:text=First%20of%20all%2C%20wastewater%20undergoes,finely%20filtered%2C%20disinfected%20and%20desalinated>.
- Yuan, Z., & Pratt, S. B. (2012, August 23). Phosphorus recovery from wastewater through. *Current Opinion in Biotechnology*, ss. 878-883.
- Aarnes, H. (2022, Mars 14). *Horisontal genoverføring*. Hentet fra Store Norske Leksikon - SNL: [https://snl.no/horisontal\\_genoverf%C3%B8ring](https://snl.no/horisontal_genoverf%C3%B8ring)
- Aarnes, H. (2022, Februar 24). *Nitrogensyklus*. Hentet fra Store Norske leksikon - snl.no: <https://snl.no/nitrogensyklus>