

Ketil Stølen

Teknologivitenskap

Forskningsmetode for teknologer

25. november 2019

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Teknologivitenskap og fremgangsmåte	1
1.2	Målsetning	2
1.3	Teknologivitenskap i et historisk perspektiv	3
1.4	Organisering	4
1.5	Takk	7
2	Teknologivitenskap, forklaringsvitenskap og innovasjon	9
2.1	Kunnskap	9
2.2	Teknologi	10
2.3	Vitenskap	11
2.4	Teknologivitenskap versus forklaringsvitenskap	14
2.4.1	Teknologivitenskap	15
2.4.2	Forklaringsvitenskap	16
2.5	Teknologivitenskap versus innovasjon	17
3	Teknologivitenkapens fremgangsmåte	19
3.1	Fasevis fremgangsmåte	19
3.2	Lesingens rolle	21
3.3	Skrivingens rolle	23
3.4	Sammenligning med forklaringsvitenskap	24
3.5	Sammenligning med aksjonsforskning	27
3.6	Sammenligning med teknologiutvikling	31
3.7	Hybrider av ulike typer forskning	32
4	Problemanalyse	35
4.1	Formulering av mål	36
4.2	Karakterisering av artefaktbehov	37
4.2.1	Identifikasjon av artefaktbehov	38
4.2.2	Analyse av artefaktbehov	40

4.2.3	Dokumentasjon av artefaktbehov	41
4.3	Kartlegging av forskningsfront	44
5	Planlegging	45
5.1	Plan for nyskapning	46
5.1.1	Idegenerering	46
5.1.2	Grunnleggende teknikker for idegenerering	47
5.2	Plan for evaluering	52
5.2.1	Klassifisering av evalueringsmetoder	53
5.2.2	Metodetriangulering	55
5.2.3	Fra generell til spesiell	56
5.3	Plan for dokumentering	57
5.3.1	Nyskapning	58
5.3.2	Evalueringsoppsett og -prosedyrer	59
5.3.3	Data	59
5.3.4	Materialer	61
5.3.5	Tolkning og analyse	61
5.3.6	Utledninger	62
6	Hypoteser	63
6.1	Implisitte hypoteser	64
6.2	Arbeidshypoteser	66
6.3	Universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser	68
6.3.1	Universelle hypoteser	69
6.3.2	Eksistensielle hypoteser	71
6.3.3	Statistiske hypoteser	74
6.3.4	Sammensatte hypoteser	75
6.4	Kan hypoteser verifiseres?	77
7	Prediksjoner	81
7.1	Vitenskapelige prediksjoner	82
7.2	Antagelser	83
7.3	Prediksjoner om fortidige hendelser	85
7.4	Gjenbrukbare prediksjonsskjemaer for teknologivitenskap	86
8	Evaluering av universelle hypoteser	89
8.1	Fremgangsmåte ved evaluering av universelle hypoteser	90
8.2	Eksempler	92
8.2.1	Prediksjon i forbindelse med prototyping	92
8.2.2	Prediksjon i forbindelse med eksperimentell simulering	93
8.2.3	Prediksjon i forbindelse med felteksperiment	94
8.2.4	Prediksjon i forbindelse med feltstudie	95
8.2.5	Prediksjon i forbindelse med datasimulering	96
8.2.6	Prediksjon i forbindelse med matematikk	97

8.2.7	Prediksjon i forbindelse med logisk argumentasjon	99
8.2.8	Prediksjon i forbindelse med spørreundersøkelse	100
8.2.9	Prediksjon i forbindelse med dybdeintervju	100
8.2.10	Prediksjon i forbindelse med laboratorieeksperiment	101
9	Evaluering av eksistensielle hypoteser	103
9.1	Fremgangsmåte ved evaluering av eksistensielle hypoteser	103
9.2	Eksempler	105
9.3	Arbeidshypoteser og evaluering	108
10	Evaluering av statistiske hypoteser	111
10.1	Kortfattet introduksjon til statistisk hypotesetesting	111
10.2	Fremgangsmåte ved evaluering av statistiske hypoteser	112
10.3	Eksempler	114
10.4	Hva hvis hypotesen som skal evalueres, er sammensatt?	118
11	Kvalitetssikring	121
11.1	Gyldighet	122
11.1.1	Ekstern gyldighet	122
11.1.2	Intern gyldighet	123
11.1.3	Begrepsgyldighet	126
11.1.4	Konklusjonsgyldighet	127
11.2	Pålitelighet	128
11.2.1	Inter-observatør-pålitelighet	130
11.2.2	Intern-konsistens-pålitelighet	131
11.2.3	Parallele-metoder-pålitelighet	132
11.2.4	Test-retest-pålitelighet	133
12	Publisering	137
12.1	Valg av publikasjon	137
12.1.1	Vitenskapelig poster	138
12.1.2	Vitenskapelig abstrakt	138
12.1.3	Populærvitenskapelig publikasjon	139
12.1.4	Vitenskapelig artikkel	139
12.1.5	Vitenskapelig rapport	140
12.1.6	Masteroppgave	141
12.1.7	Doktoravhandling	142
12.1.8	Vitenskapelig bok	142
12.1.9	Patent	142
12.2	Gjenbruk	143

13	Artikkelskriving	145
13.1	Struktur og oppbygning	145
13.1.1	Tittel	147
13.1.2	Forfatterliste	148
13.1.3	Abstrakt	149
13.1.4	Nøkkelord	149
13.1.5	Introduksjon	149
13.1.6	Karakterisering av artefaktbehov	150
13.1.7	Beskrivelse av teknologivitenskapelig forskningsmetode	150
13.1.8	Beskrivelse av det nye artefaktet	151
13.1.9	Evalueringsresultater	152
13.1.10	Diskusjon av evalueringer	152
13.1.11	Diskusjon av om artefaktbehov er tilfredsstillende	153
13.1.12	Diskusjon av beslektet arbeid	154
13.1.13	Konklusjon	154
13.1.14	Videre arbeid	154
13.1.15	Takk	154
13.1.16	Litteraturliste	155
13.1.17	Vedlegg	156
13.2	Hvis skrivingen står i stampe	156
13.2.1	Jeg kommer ikke i gang	156
13.2.2	Jeg finner ikke den røde tråden	157
13.2.3	Jeg får ikke til diskusjonen	158
13.2.4	Konklusjonen min sier ingenting	159
13.2.5	Jeg greier ikke å kutte mer	159
13.2.6	Jeg får ikke artefaktbehovet til å passe inn	160
13.2.7	Jeg synes artikkelen blir bedre uten hypoteser	160
13.2.8	Hva skal jeg egentlig med prediksjoner?	161
14	Teknologivitenskap i en vitenskapsfilosofisk helhet	163
14.1	Sentrale vitenskapsfilosofiske retninger	163
14.1.1	Empirisme	163
14.1.2	Induksjonisme	164
14.1.3	Positivism	164
14.1.4	Logisk empirisme	165
14.1.5	Falsifikasjonisme	166
14.1.6	Paradigmetenkning	167
14.1.7	Epistemologisk anarkisme	169
14.1.8	Probabilisme	170
14.1.9	Eksperimentalisme	170
14.2	Teknologivitenskap i dette bildet	171
14.2.1	Teknologivitenskap og empirisme	171
14.2.2	Teknologivitenskap og induksjonisme	172
14.2.3	Teknologivitenskap og positivisme	173

14.2.4	Teknologivitenskap og logisk empirisme	174
14.2.5	Teknologivitenskap og falsifikasjonisme	174
14.2.6	Teknologivitenskap og paradigmetenkning	175
14.2.7	Teknologivitenskap og epistemologisk anarkisme	175
14.2.8	Teknologivitenskap og probabilisme	175
14.2.9	Teknologivitenskap og eksperimentalisme	176
	Oversikt over definisjoner	177
	Oversikt over fremgangsmåter	183
	Oversikt over eksempler	185
	Oversikt over figurer	189
	Oversikt over tabeller	191
	Litteraturliste	193
	Register	199

Kapittel 1

Introduksjon

Teknologivitenskap, som begrepet brukes av meg, er vitenskapen om å skape, oppfinne eller frembringe nye ting i form av menneskeskapt objekter, såkalte artefakter, ofte omtalt som teknologi. Jeg betegner naturvitenskap, samfunnsvitenskap og annen vitenskap som handler om å forstå verden som den er, inkludert de artefaktene som allerede eksisterer, som forklaringsvitenskap.

Teknologivitenskap gjør ofte bruk av forklaringsvitenskap, for eksempel for bedre å forstå egenskapene til et materiale som skal inngå i et nytt artefakt. Det er da underordna det egentlige målet, som er å skape noe nytt for å tilfredsstille et (potensielt) menneskelig behov, noe som ikke eksisterte da det aktuelle forskningsprosjektet ble igangsatt.

På samme måte gjør forklaringsvitenskap bruk av teknologivitenskap, men de nye artefaktene som lages, for eksempel spesialiserte instrumenter, er kun redskaper for å avdekke sammenhenger og forstå virkeligheten, og ikke hovedmål i seg selv.

1.1 Teknologivitenskap og fremgangsmåte

Teknologivitenskap dreier seg om å frembringe ny kunnskap i form av *nye* artefakter, mens forklaringsvitenskap er opptatt av å frembringe kunnskap om verden som den er, inkludert den teknologien og de artefaktene som alt *eksisterer*.

I denne boka fokuserer vi på teknologivitenskap generelt og fremgangsmåte for teknologivitenskap spesielt. Men hva menes egentlig med fremgangsmåte i denne sammenheng? Er fremgangsmåte det samme som forskningsmetode? Jo, det kan man si. I denne boka benyttes frasen «fremgangsmåte for vitenskap» og i mindre grad begrepet «forskningsmetode» fordi vi vektlegger den overordna prosessen for teknologiforskning, det som er felles for et stort antall forskningsmetoder fra ulike teknologiforskningsdisipliner.

Hva er en god fremgangsmåte for teknologivitenskap? Det bør være et relevant spørsmål for en teknologiforsker. Ikke desto mindre er det i mange teknologiviten-

skapelige miljøer lite vektlagt. Selv bedrev jeg teknologivitenskap i nesten ti år før jeg begynte å tenke særlig over hva som var en god fremgangsmåte for arbeidet mitt. Uansett, når jeg ser tilbake, er det ikke vanskelig identifisere et forbedringspotensial. Dette forbedringspotensialet ser jeg også hos andre, hos tidligere og nåværende kollegaer, samarbeidspartnere, i egenskap av fagfelleevaluator og i min rolle som tidsskriftsredaktør.

Når jeg spør en uerfaren forsker, for eksempel en masterstudent eller en doktorgradsstipendiat, hvordan han eller hun planlegger å gå frem for å gjennomføre sitt forskningsprosjekt, får jeg ofte et svar på omtrent følgende form:

Først må jeg lese meg opp på tematikken, deretter må jeg definere selve problemstillingen, så må jeg utføre forskningen, og til slutt dokumentere det hele i en rapport, avhandling eller artikkel.

Jeg pleier å si at det er mulig å forske på den måten, men at det neppe er lurt hverken med tanke på tiden det vil ta, eller kvaliteten på forskningsresultatene. For det første er det svært risikabelt å lese en hel masse før man har definert problemstillingen. Det er nemlig utrolig mye å lese innenfor de aller fleste tematikker, og faren for å lese svært mye man ikke får bruk for, og lite av det man virkelig trenger i prosjektet, er overhengende. For det andre, hvis man først starter å dokumentere etter at man har avsluttet selve forskningen, vil man kunne erfare at man ikke har resultatene eller dataene som trengs.

Det finnes mange spesialiserte forskningsmetoder, og det finnes et utall av bøker og artikler som behandler dem, ofte på en svært grundig og pedagogisk utmerket måte. Eksempler er forskningsmetoder for hypotesetesting og statistisk analyse [98], for ulike typer eksperimentoppsett [78], [110], [49], for kvalitativ forskning [17], [15] og kreativitet i forskning [67]. Svært mye av denne litteraturen tar utgangspunkt i enten klassisk naturvitenskap som fysikk eller kjemi, samfunnsvitenskap som sosiologi eller økonomi, eller har en vinkling mot medisin.

Denne boka skiller seg fra disse på flere måter. For det første ved å fokusere på det å skape, fremstille eller finne opp nye artefakter – med andre ord, teknologiforskning. For det andre ved å beskrive en generell fremgangsmåte for teknologiforskning som binder sammen spesialiserte forskningsmetoder i et hele.

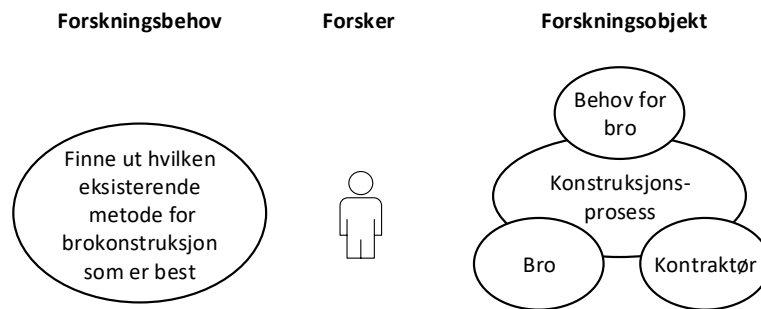
1.2 Målsetning

Det overordna målet med denne boka er å bidra til at noen av de mest vanlige fallgruvene innen teknologivitenskap unngås eller gjøres enklere å overvinne. Boka er skrevet for alle som jobber med teknologivitenskap, fra masterstudenter til forskere og veiledere.

Det er min erfaring at mange forskere innen teknologifag legger for liten vekt på hvordan de går frem, og at de kan bli vesentlig bedre innenfor sine spesifikke felt ved å bli mer bevisst på hva de gjør, og hvorfor. Det jeg fremsetter i form av

forslag, anbefalinger og retningslinjer i denne boka, er hva jeg har funnet å virke for meg selv og andre, og i mine egne forskningsprosjekter. Det er teknologivitenskap som er tema for boka, men en del av det som tas opp, er også relevant for vitenskap generelt.

1.3 Teknologivitenskap i et historisk perspektiv



Figur 1.1 Vitenskap om design – studium av metoder for brobygging.

Teknologivitenskap har sin opprinnelse på 1960-tallet [18]. Boka *The science of the artificial* [80], publisert av Herbert Simon (1916–2001) i 1969, introduserte begrepet designvitenskap. Designvitenskap brukes gjerne i to ulike betydninger. Hehner og Chatterjee [38] skiller mellom *researching design* i betydning «vitenskap om design» og *design as research* i betydning «design som vitenskap».

I den første betydningen, vitenskap om design, dreier designvitenskap seg om design og designprosesser generelt, uavhengig av om designet selv representerer forskning eller ikke. Forskningen består i å studere designere i deres arbeid for å etablere kunnskap om eksisterende designprosesser og designmetodikk. Man ønsker for eksempel å avgjøre om en bestemt prosess eller metode er mer effektiv eller gir bedre kvalitet enn en annen. Som antydning i figur 1.1 kan forskningen bestå i å evaluere eksisterende metoder for brokonstruksjon. Forskningsbehovet kan være å identifisere hvilken eksisterende metode som er best egnet med hensyn til en eller flere kvaliteter, for eksempel kostnadseffektivitet. En mulig fremgangsmåte er å studere dokumentasjon fra allerede gjennomførte brokonstruksjonsprosjekter. For hvert slikt prosjekt finnes et behov for en ny bro (som ikke må forveksles med vårt forskningsbehov), en eller flere kontraktører, en konstruksjonsprosess og en ferdig bro. Et forskningsresultat kan være at en viss metode er mer kostnadseffektiv enn en annen metode gitt et antall nærmere spesifiserte forutsetninger og antagelser.

Den andre betydningen, design som vitenskap, svarer til det vi i denne boka kaller *teknologivitenskap*. En forsker innen teknologivitenskap bedriver nyskaping

og leverer resultater i form av nye artefakter. Figur 1.2 beskriver relasjonen mellom forklaringsvitenskap, teknologivitenskap og de to betydningene av designvitenskap.

$$\begin{aligned} \text{vitenskap om design} &\subset \text{forklaringsvitenskap} \\ \text{design som vitenskap} &= \text{teknologivitenskap} \end{aligned}$$

Figur 1.2 Teknologivitenskap og de to formene for designvitenskap.

Vitenskap om design dreier seg om å forstå design og designprosesser som de er, og hører derfor inn under forklaringsvitenskap, hvilket motiverer undermengdeoperatoren « \subset ». Tross alt, forklaringsvitenskap er langt mer enn vitenskap om design. Design som vitenskap sammenfaller derimot med hva vi i denne boka kaller teknologivitenskap, og her er det derfor likhetstegn. Design som vitenskap adresserer viktige uløste problemer på en unik eller innovativ måte, eller løste problemer på en bedre eller mer økonomisk måte, og hovedskillet mellom rutinedesign og design som vitenskap er et klart identifiserbart kunnskapsbidrag [39]. Teknologivitenskap, og ikke minst metodikk for teknologivitenskap, har i de senere årene i takt med den eksplosive veksten i ny IT-basert teknologi tiltrukket seg mye interesse. Se [99] og [21] for alternative presentasjoner av teknologivitenskap.

1.4 Organisering

Boka er delt inn i 14 kapitler. Etter dette første introduksjonskapitlet følger to kapitler som introduserer et grunnlag for det som kommer senere. Disse kapitlene klargjør betydningen av sentrale begreper og beskriver en overordna prosess for teknologivitenskap. Kapitlene 4–11 er dedikert til selve fremgangsmåten. Kapitlene 4, 5 og 6 tar for seg henholdsvis problemanalyse, planlegging og hypoteser. De fem neste er rettet mot evaluering. Kapittel 7 introduserer prediksjonsbegrepet, som spiller en viktig rolle ved evaluering av hypoteser. Kapitlene 8–10 tar for seg evaluering av henholdsvis universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser. Kapittel 11 har kvalitetssikring som tema og introduserer begreper som gyldighet og pålitelighet. Deretter, i kapitlene 12 og 13, tar vi for oss publisering, med spesiell vekt på det som er spesifikt for teknologivitenskap. Det siste kapitlet, kapittel 14, gir en kortfattet vitenskapsfilosofisk oversikt med vekt på hvordan teknologivitenskap, som presentert i denne boka, passer inn i en slik sammenheng. Under følger et kort sammendrag av hvert enkelt kapittel.

- *Kapittel 2 – Teknologivitenskap, forklaringsvitenskap og innovasjon:* For å kommunisere på en god måte er vi avhengige av et ryddig begrepsapparat og at den eller de vi kommuniserer med, legger tilnærmet samme betydning i ord og uttrykk som oss selv. Målsetningen med kapittel 2 er å få til nettopp dette. Kapitlet

introduserer begreper som kunnskap, teknologi og vitenskap og forklarer relasjonen mellom teknologivitenskap, forklaringsvitenskap og innovasjon.

- *Kapittel 3 – Teknologivitenskapens fremgangsmåte:* For å presentere teknologivitenskapens ulike aspekter trenger vi ikke bare en felles forståelse av sentrale begreper, men også en overordna prosess å ta utgangspunkt i. Dette kapitlet introduserer en slik prosess. I kapitlet skilles det mellom tre hovedfaser, nemlig behovskarakterisering, nyskapning og evaluering. Med utgangspunkt i disse tar vi først for oss lesingens og skrivingens rolle innen teknologivitenskap. Deretter ser vi nærmere på hvordan teknologivitenskap avviker fra andre typer vitenskap, som forklaringsvitenskap. Vi relaterer også aksjonsforskning, som ofte benyttes for å studere sosiale strukturer, prosesser og virksomheter hvor mennesker står i fokus, til teknologivitenskap. Vi gjør videre en grenseoppgang mellom teknologivitenskap og teknologiutvikling, og fremhever at mange forskningsprosjekter involverer både forskning og utvikling.
- *Kapittel 4 – Problemanalyse:* Dette kapitlet dreier seg om klargjøring og presisering av problemet vi er ment å løse. Det innebærer å formulere mål og karakterisere artefaktbehovet som skal tilfredsstilles. I tillegg må det etableres tilstrekkelig oversikt over hva som alt er tilgjengelig i form av teknologi og forskningsresultater.
- *Kapittel 5 – Planlegging:* Når artefaktbehovet er forstått og dokumentert på en tilfredsstillende måte, trenger vi en plan for hvordan vi skal gå frem for å tilfredsstille dette behovet. Denne planleggingen er også en del av problemanalysen, men har på grunn av sin viktighet blitt tilordna et eget kapittel. Kapitlet skiller mellom planlegging av henholdsvis nyskapning, evaluering og dokumentasjon.
- *Kapittel 6 – Hypoteser:* I dette kapitlet defineres og eksemplifiseres ulike typer hypoteser. Det finnes tradisjoner og domener innenfor teknologiforskning hvor hypotesebegrepet ikke står i fokus. Innledningsvis relateres hypotesebegrepet til terminologien som benyttes innenfor slike felt. Vi tar så for oss arbeidshypoteser og deres rolle i nyskappingsfasen. Videre klassifiseres hypoteser med hensyn til om de er universelle, eksistensielle og/eller statistiske. Kapitlet avsluttes med en diskusjon av i hvilken grad hypoteser kan falsifiseres eller verifiseres.
- *Kapittel 7 – Prediksjoner:* En forsker må kunne argumentere for sine resultater. Det forutsetter en form for undersøkelse eller evaluering, og i den sammenheng spiller prediksjoner en sentral rolle. I dette kapitlet tar vi først for oss prediksjonsbegrepet og prediksjonens rolle ved evaluering. Deretter ser vi nærmere på relasjonen mellom prediksjoner, antagelser og fakta. En prediksjon avhenger nemlig nesten alltid av eksisterende teori og kunnskap. Vi fremhever også at prediksjoner kan dreie seg om fortidige hendelser så lenge testen den predikerer utfallet av, utføres i fremtiden. Til slutt introduserer vi ti gjenbrukbare skjemaer for formulering av prediksjoner.
- *Kapittel 8 – Evaluering av universelle hypoteser:* På et overordna nivå avhenger fremgangsmåten for evaluering av hypotesens form og struktur. Dette kapitlet dreier seg om evaluering av universelle hypoteser. Anvendelse av gjenbrukbare skjemaer for formulering av hypoteser og prediksjoner vektlegges spesielt.

- *Kapittel 9 – Evaluering av eksistensielle hypoteser:* I dette kapitlet tar vi for oss evaluering av eksistensielle hypoteser. Som i foregående kapittel benyttes gjenbrukbare skjemaer ved formulering av hypoteser og prediksjoner. Avslutningsvis tar vi opp evaluering av arbeidshypoteser hvor arbeidshypotesen forfines eller forbedres til en ny og mer interessant hypotese som så utsettes for en detaljert evaluering.
- *Kapittel 10 – Evaluering av statistiske hypoteser:* I dette kapitlet fokuserer vi på evaluering av statistiske hypoteser. Innledningsvis gir vi en kort innføring i statistisk hypotesetesting. Som i foregående kapittel benyttes gjenbrukbare skjemaer ved formulering av hypoteser og prediksjoner. Kapitlet avsluttes med en seksjon om evaluering av sammensatte hypoteser.
- *Kapittel 11 – Kvalitetssikring:* Det er lett å gjøre feil i en evalueringsprosess. Det er derfor viktig å kontrollere og begrunne at evalueringen er solid og riktig. Kvalitetssikring av evaluering innebærer å sjekke i hvilken grad krav til gyldighet og pålitelighet er tilfredsstillt. I dette kapitlet formuleres disse kravene, og sammenhengen mellom dem beskrives. Kapitlet gir også innblikk i hva vi må passe på og se etter i forbindelse med kvalitetssikring.
- *Kapittel 12 – Publisering:* En viktig del av all forskning er publisering. Dette kapitlet tar for seg publisering innen teknologiforskning. Vi skiller mellom ni ulike typer publikasjoner. Til slutt tar vi opp problematikk relatert til gjenbruk og såkalt selvplagiat.
- *Kapittel 13 – Artikkelskriving:* Artikkelformatet regnes av mange som gullstandarden for vitenskapelig publisering. Innledningsvis fokuserer vi på det rent strukturelle: Hvilke seksjoner inngår i en teknologivitenskapelig artikkel, og i hvilken rekkefølge. Vi går så gjennom disse seksjonene og ser spesielt på de aspektene som er spesielle for teknologiforskning. Alle som har forsøkt å skrive en artikkel, vet at det kan være vanskelig. Den siste delen av kapitlet er derfor dedikert til hva vi kan gjøre når skrivingen stopper opp.
- *Kapittel 14 – Teknologivitenskap i en vitenskapsfilosofisk helhet:* Dette kapitlet er delt i to bolker. Den første halvdel gir en kortfattet oversikt over sentrale vitenskapsfilosofiske retninger med vekt på de siste 100 årene. Den andre halvdel posisjonerer så teknologiforskning som presentert i denne boka i det vitenskapsfilosofiske bildet beskrevet i første halvdel.

For å gjøre det lettere å beholde oversikten har jeg samlet samtlige definisjoner (tillegg A) samt sideangivelser for samtlige fremgangsmåter (tillegg B), eksempler (tillegg C), figurer (tillegg D) og tabeller (tillegg E) i hvert sitt tillegg. Boka avsluttes med en litteraturliste og et register. I registeret brukes følgende konvensjon:

- Sidennummer i fet sats refererer til bokas hoveddel, hvor begrepet defineres (gitt at en slik definisjon er gitt).
- Sidennummer i kursiv sats refererer til tillegg A, hvor definisjonen av begrepet gjentas (gitt at en slik definisjon er gitt).

1.5 Takk

Christen Krogh foreslo meg som foreleser i forskningsmetodikk. Det førte til at jeg begynte å interessere meg for tematikken, og at jeg til slutt skrev denne boka. Dette arbeidet har gitt meg mye glede.

Ida Solheim hjalp meg med å meisle ut mine tidlige tanker om teknologiviten- skap, med to tekniske rapporter [83], [82] som resultat. Atle Refsdal kommenterte på en tidlig versjon av hele manuskriptet. Johan Fahlstrøm, Ragnhild Halvorsrud, Amela Karahasanovic, Dumitru Roman, Mariann Sandsund og Erlend Magnus Vigg- en har kommentert på utvalgte kapitler. Dag Frette Langmyhr har hjulpet meg å overvinne Latex-relaterte hindre. Takk til dere alle. En spesiell takk til Jannicke Bærheim, Mass Soldal Lund og Randi Eidsmo Reinertsen som har lest relativt sene versjoner av hele manuskriptet og bidratt med mange nyttige innspill og forslag. En svært grundig korrekturleser identifiserte mange språklige svakheter som jeg har rettet opp etter beste evne.

Takk til Ragnhild Kobro Runde som anbefalte boka. Takk til medforelesere Ran- di Eidsmo Reinertsen, Mariann Sandsund, Erik Wold og Laila Økdal Aksetøy. En spesiell takk til studenter, kursdeltagere, stipendiater og kollegaer som (uten å vite om det) har vært «prøvekaniner» for teorier, tanker og anbefalinger som presenteres i det følgende.

Kapittel 2

Teknologivitenskap, forklaringsvitenskap og innovasjon

Begreper som vitenskap, forskning og teknologi kan være vanskelige å forholde seg til. Et problem er deres abstrakte natur, et annet at de ofte brukes i ulik betydning avhengig av kontekst og hvem som ytrer seg. Dette kapitlet har som målsetning å klargjøre hvordan disse og relaterte begreper brukes i denne boka.

2.1 Kunnskap

Vi lever i en virkelighet som eksisterer uavhengig av oss selv. Når vi dør, eksisterer fortsatt denne virkeligheten. Det tar de fleste av oss for gitt.

Definisjon 2.1 *Virkeligheten* er den ytre verden. Det vi står overfor i vår naturlige innstilling til omverdenen i alminnelighet [34], og det vi indirekte kan slutte oss til om den.

Det finnes filosofer som betviler eksistensen av en virkelighet utover den direkte observerbare. Slike synspunkter vil jeg imidlertid ikke bruke plass på i denne boka. For de fleste av oss, vitenskapens menn og kvinner inkludert, er eksistensen av en virkelighet uavhengig (men ikke upåvirket) av vår egen eksistens noe innlysende som vi baserer oss på i all vår tenkning og daglige virke.

Noe av denne virkeligheten kan vi observere direkte, andre deler, som DNA, lysets bøyning og elektronenes oppførsel kan vi kun dedusere oss frem til på en indirekte måte. Det vi vet om virkeligheten, kaller vi kunnskap, og når vi lærer noe nytt, utvides eller revideres denne kunnskapen.

Definisjon 2.2 *Kunnskap* er viten, innsikt, kjennskap, det man vet [34].

Kunnskap dreier seg altså om virkeligheten. Denne virkeligheten inkluderer andre mennesker. Du, som en levende og tenkende organisme, er en del av denne virkeligheten. Siden du inngår i virkeligheten, er strengt tatt også din kunnskap en del av

virkeligheten. I denne boka skiller vi imidlertid skarpt mellom kunnskap og det vi har kunnskap om, nemlig virkeligheten. Det er en forenkling eller en abstraksjon, men en vanlig og svært nyttig sådan.

Vi prøver stadig å skaffe oss mer kunnskap om virkeligheten, og for å skaffe oss mer kunnskap bruker vi sansene understøttet av ulike hjelpemidler. Noen av disse hjelpemidlene er menneskeskapt, mens andre er naturlige i den betydning at de har oppstått uavhengig av oss. Ønsker vi å sjekke dybden til en sølepytt, så kan vi bruke en pinne som vi finner på bakken – med andre ord, et naturlig hjelpemiddel. Skal vi på den annen side studere månens overflate, er et menneskeskapt hjelpemiddel i form av et teleskop nyttig. Et menneskes bestrebelse på å tilegne seg kunnskap om virkeligheten som den faktisk er, omtales gjerne som erkjennelse.

Definisjon 2.3 *Erkjennelse* er virksomhet for å oppfatte noe som det er (i virkeligheten), uavhengig av det erkjennende subjektet [34].

Kunnskap skal være objektiv. Det betyr at den ikke skal være farget av den som observerer eller erkjenner. Det siste er et ideal som vi hele tiden streber mot uten alltid å kunne tilfredsstille. Hvor vanskelig dette er, vet alle som forsker på mennesker og menneskeskapt prosesser, og det er ikke helt lett innenfor andre fagfelt heller. Innen kvantefysikken er problemet satt på spissen. Det er teoretisk umulig i et gitt øyeblikk å måle nøyaktig posisjonen så vel som hastigheten til et elektron. Desto nøyaktigere vi måler det ene, desto mer uvisst blir det andre. Problemet er at selve målingen interfererer med elektronets oppførsel. Fenomenet er kjent som Heisenbergs uvisshetsprinsipp [90].

2.2 Teknologi

I denne boka er vi opptatt av menneskeskapt ting og objekter, og slike vil vi i fortsettelsen kalle artefakter.¹ Begrepet artefakt har sin opprinnelse i det latinske ordet *arte*, som betyr «(opplært) evne» [106].

Definisjon 2.4 Et *artefakt* er en ting, et objekt eller et fenomen skapt av mennesker.

Begrepet artefakt som det er definert over, dekker alt fra enkle verktøy som en flintøkse, kniv eller sprettert til for eksempel en værsatellitt. Artefakter kan også være immaterielle. En forretningsprosess kan forstås som et artefakt. Det samme gjelder et dataprogram.

¹ I et laboratorium brukes ofte begrepet artefakt til å betegne en feil eller et avvik som er menneskeskapt. Denne tolkningen må ikke forveksles med vår generelle definisjon, men heller sees på som et svært snevert spesialtilfelle.

Begrepet teknologi har mange forskjellige definisjoner, men de er alle spunnet rundt «den praktiske anvendelsen av kunnskap for å lage ting» (jmfør for eksempel Bokmålsordboka [8]). Ordet teknologi stammer opprinnelig fra det greske *technologia*, som kan oversettes til «systematisk anvendelse av tekhné», hvor *tekhne* betyr «kunst eller ferdighet» [61]. Her er fokus på metode, og ikke på artefaktene som fremstilles ved å anvende metoden. I dag benyttes begrepet teknologi som regel i en bredere betydning. Definisjonen under er inspirert av den amerikanske sosiologen Read Bain (1892–1980) [3].

Definisjon 2.5 *Teknologi* inkluderer alle menneskeskapte objekter samt de ferdighetene med hvilke vi fremstiller og bruker disse.

Verktøy, maskiner, redskaper, våpen, instrumenter, husrom, klær, medisiner, kommunikasjons- og transportmidler er hva vi kaller ting eller objekter, mens ferdigheter med hvilke vi fremstiller og bruker disse, svarer til metoder, prosesser og i bred forstand, sosiale strukturer. Alt dette er menneskeskapt og derfor artefakter.²

2.3 Vitenskap

Vitenskap har sine røtter i antikkens filosofi. Vitenskap i antikken var først og fremst naturvitenskap. Man prøvde å forstå verden slik den fremsto. Det vil si, tilegne seg kunnskap om naturen, verdensrommet, menneskekroppen og så videre. I våre dager er begrepet vitenskap langt mer omfattende. Det finnes ikke minst langt flere vitenskaper. Informasjonsvitenskap og medievitenskap er eksempler på relativt nye vitenskaper.

Vitenskap dreier seg om (eller handler om) kunnskap som vi har spesielt høy tiltro til. Vår definisjon av vitenskap er adaptert fra [34].

Definisjon 2.6 *Vitenskap* er et systematisk ordna hele av metodisk tilveiebrakt kunnskap.

At kunnskap er metodisk tilveiebrakt, er en referanse til prosessen for frembringelse av kunnskap – til selve erkjennelsen. Innen vitenskap omtales gjerne erkjennelse som forskning. Ifølge Merriam-Webster [60] er forskning:

undersøkelse eller eksperimentering rettet mot oppdagelse og tolkning av fakta, revisjon av aksepterte teorier eller lover i lys av nye fakta, eller praktisk anvendelse av slike nye eller reviderte teorier eller lover.

² I denne boka har teknologi og artefakt strengt tatt samme betydning. Teknologi er imidlertid et «belastet» begrep på norsk. En del artefakter, som for eksempel en prosedyre for slukking av skogbrann, vil de færreste tenke på som teknologi. I slike situasjoner er det nyttig å gjøre bruk av artefaktbegrepet hvis betydning på norsk er mer åpen.

Litt mer overordna definerer jeg forskning som følger.

Definisjon 2.7 *Forskning* er en systematisk prosess for frembringelse av ny kunnskap.

En forsker er en person som bedriver forskning. Forskning kan utføres på mange ulike måter, og disse kalles gjerne forskningsmetoder.

Definisjon 2.8 En *forskningsmetode* er en spesialisert fremgangsmåte for å bedrive forskning.

Det er vanlig å skille mellom grunnforskning og anvendt forskning. Grunnforskning drives ikke av noe praktisk formål, men dreier seg om å samle kunnskap uavhengig av om denne kunnskapen har praktisk nytte eller ikke.

Definisjon 2.9 *Grunnforskning* er forskning med det formål å tilfredsstille behovet for å vite.

Begrepet anvendt forskning brukes i flere betydninger. At anvendt forskning er praktisk og dreier seg om å løse praktiske problemer, går igjen overalt. Definisjonene avviker imidlertid med hensyn til om anvendt forskning begrenser seg til anvendelse av grunnforskningsresultater for å løse praktiske problemer, eller om forskning fremdeles er anvendt selv om den ikke er basert på grunnforskning. I det siste tilfellet tolkes begrepet anvendt mer i retning av «nyttig». Definisjonen under er av den siste mer generelle typen.

Definisjon 2.10 *Anvendt forskning* er forskning for å finne en løsning på et praktisk menneskelig problem.

Et eksempel på anvendt forskning som bygger på grunnforskning, er Braggs metode for å lokalisere posisjonen til fiendtlige artillerikanoner basert på lydbølgene som oppstår når de avfyres.

Eksempel 2.1 (Lokalisering av fiendtlige artillerikanoner). William Lawrence Bragg (1890–1971), som i 1915 delte nobelprisen i fysikk med sin far, tjenestegjorde på britisk side under første verdenskrig. Bragg fikk i oppgave [47] å finne en metode for å identifisere posisjonen til fiendtlige artillerikanoner basert på trykkbølgene som oppsto ved ildgivning, slik at de lettere kunne uskadeliggjøres. Et problem som Bragg tok tak i, er at kanoner produserer svært lavfrekvente lydbølger som det var vanskelig å registrere ved hjelp av datidens utstyr. Dette var for Bragg svært frustrerende, for det er mye energi i lydbølgene fra et kanonskudd. Latrinen som Bragg brukte mens han var stasjonert i Flandern, befant seg i et vindusløst avlukke. Når døra var lukket, var eneste åpning til utsiden på undersiden av setet. Hver gang en britisk «6-tommer» ble avfyrt på en avstand av 400 meter, lettet Bragg fra setet selv om han ofte ikke kunne høre smellet.

Et annet problem var at smellet når prosjektet brøt lydmuren, overdøvet selve smellet fra kanonen. Inspirert av en av sine korporaler, William Sansome Tucker (1877–1955), kom Bragg opp med en løsning for å lese av lydbølgene basert på eksisterende apparatur for måling av vindhastighet. Disse såkalte Tucker-mikrofonene ble plassert ut i terrenget, og ved å måle tidsdifferanse var det mulig å kalkulere seg frem til kanonens posisjon med tilstrekkelig nøyaktighet. Metoden ble utviklet med utgangspunkt i grunnforskningsresultater, som kunnskap om lydets hastighet og hvordan den varierer avhengig av vind og temperatur.

Et eksempel på anvendt forskning som ikke var basert på grunnforskning, er Vass-Pers nivelleringsverktøy for å bestemme bakkehelning.

Eksempel 2.2 (Nivelleringsverktøy for anleggelse av vannveier). Peder Pedersen Dagsgardødegård (1782–1846) fra Skjåk, bedre kjent som Vass-Per, var ekspert i å beregne vannveier [55], datidens vanningsanlegg. Vass-Per tilskrives mange vannveier, men er spesielt kjent for Bordvassvegen i Lom, som han bygget sammen med sin sønn. I henhold til den bevarte kontrakten fra 1833 fikk Vass-Per 200 spesidaler for å skaffe vann. Denne vannveien starter i 1450 meters høyde og ender 450 meter over havet. Det var med datidens teknologi en svært krevende oppgave. Det var ikke bare å sørge for at nok vann kom frem. Det måtte heller ikke komme for mye. For å hjelpe seg i dette arbeidet oppfant Vass-Per et nivelleringsverktøy for å bestemme bakkehelning. Vass-Per baserte seg ikke på grunnforskningsresultater, men det er like fullt anvendt forskning i vår betydning av begrepet. Vass-Per er for øvrig også en av flere som sies å ha oppfunnet eller videreutvikla den lomske såmaskinen [54].

Når definisjon 2.6 omtaler kunnskap som et systematisk ordna hele, så innebærer det en vektlegging av lovmessighet og struktur. Kunnskap innen vitenskap har en viktig bestanddel som kalles teori.

Definisjon 2.11 *Teori* er et system av (delvis) bekreftede utsagn som bestemmer eller forklarer sammenhengen mellom en rekke fenomener.

Ikke all kunnskap er teori. At den svenske kongen Karl XII (1682–1718) falt ved Fredriksten festning, er kunnskap om virkeligheten, men ikke teori, for her forklares ingen sammenheng. Den representerer derimot et saksforhold.

Definisjon 2.12 Et *faktum* er et saksforhold som er sant.

I likhet med de aller fleste anser jeg Karl XIIIs død ved Fredriksten festing i Halden som et faktum.³ At jeg satt i en rød sofa i en hotellresepsjon i Malaga og skrev første utkast til denne seksjonen, er jeg også sikker på. Det betrakter jeg også som et faktum. Nå liker filosofer å poengtere at absolutt sikker kan man ikke være om

³ At Karl XII døde ved Fredriksten festning, er det egentlig ingen seriøs forsker som bestrider. Om han ble skutt av en svensk eller norsk soldat, og i så fall av hvem, har derimot blitt debattert i det vide og det brede [53].

noe som helst. Belysningen i resepsjonen kan for eksempel ha lurt meg til å tro at sofaen var rød, eller så kan kaffen jeg drakk, ha blitt tilført et middel som brakte sansene mine i ulage. Videre så er jeg sikrere på at sofaen var rød enn at Karl XII falt ved Fredriksten. Det siste skjedde jo nesten 250 år før jeg ble født. I praksis er imidlertid slike betraktninger lite fruktbare. Visse saksforhold har vi så stor tillit til at de ganske enkelt klassifiseres som fakta, og det er den linjen vi legger oss på i denne boka.

Utgangspunktet for en teori er forskerens spørsmål, og hans eller hennes forsøksvise gjetninger om hva svarene kan være. Kvalifiserte gjetninger kalles hypoteser. En gjetning er kvalifisert hvis den bygger på kunnskap [20].

Definisjon 2.13 En *hypotese* er en kvalifisert gjetning uttrykt som en påstand.

Forskeren kan ha et sett av alternative hypoteser. For å finne ut om de stemmer, må de evalueres. Dette kalles også etterprøving og innebærer ulike typer undersøkelser eller analyser.

De fleste hypoteser forkastes etter kort tid. Men noen hypoteser overlever selv svært grundige evalueringer, og da kalles de ikke lenger hypoteser selv om de i bunn og grunn ikke er annet enn hypoteser hvis riktighet vi har stor tiltro til. I stedet innlemmes de i det vi kaller kunnskap eller teori.

Empirisk forskning er forskning basert på erfaring, iakttagelser og observasjoner av virkeligheten. Denne boka dreier seg nesten utelukkende om empirisk forskning og empiriske hypoteser.

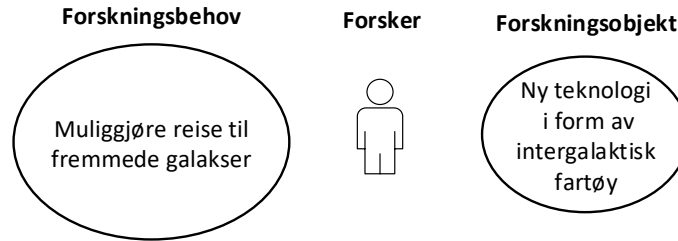
Definisjon 2.14 En *empirisk hypotese* er en hypotese om virkeligheten.

Ikke-empiriske hypoteser er hypoteser som kan evalueres, for eksempel bevises eller motbevises, rent matematisk eller logisk på et abstrakt nivå uavhengig av virkeligheten. Matematikk og logikk er viktige verktøy også ved evaluering av empiriske hypoteser, men da alltid i kombinasjon med andre metoder.

2.4 Teknologivitenskap versus forklaringsvitenskap

I denne boka deler vi, som forklart tidligere, vitenskapene i to hovedformer eller kategorier, i henholdsvis teknologivitenskap og forklaringsvitenskap. I forklaringsvitenskap er man opptatt av å beskrive, kartlegge og forstå virkeligheten som den er. Teknologivitenskap dreier seg om å utvide denne virkeligheten med nye artefakter – det vil si, med ny teknologi. De fleste vitenskaper, som fysikk, kjemi, informasjonsvitenskap, sosiologi og så videre, innbefatter begge formene, men vektleggingen mellom de to formene varierer mye fra en vitenskap til en annen. Jeg vil i det følgende presisere relasjonen mellom teknologivitenskap og forklaringsvitenskap.

2.4.1 Teknologivitenskap



Figur 2.1 Teknologivitenskap – oppfinnelse av intergalaktisk fartøy.

Ingeniørvitenskapene utgjør kjernen i teknologivitenskap, men begrepet er langt videre enn som så. Våre dagers kjemikere oppfinner stadig nye artefakter i form av stoffer og substanser, for eksempel medisiner, mens artefakter i form av nye arter utvikles av genetikere. Selv om tidligere tiders kjemikere og biologer var opptatt av å forstå virkeligheten, oppfant de også artefakter som spesialiserte verktøy, miksturer eller praktiske analysemetoder.

Definisjon 2.15 *Teknologivitenskap* er vitenskap der man fokuserer på å utvide virkeligheten med nye eller vesentlig bedre artefakter.

En teknologiforsker bestreber seg altså på å skape eller finne opp nye artefakter. Det vil si artefakter som ikke eksisterte ved forskningens oppstart. En forsker kan for eksempel ha som mål å oppfinne et fartøy som kan ta seg til en fremmed galakse (figur 2.1). Å få til noe slikt er ikke realistisk i dag, men vi har lyktes med mye annen teknologiforskning som noen århundrer tidligere virket utopisk, ikke minst oppfinnelsen av det motoriserte flyet.

Eksempel 2.3 (Det motoriserte flyet). Alt i 1799 definerte George Cayley (1773–1857) den moderne flyvemaskinen som konsept, bestående av faste vinger og med separate systemer for løft, fremdrift og kontroll [100]. Det tok imidlertid mer enn et århundre før brødrene Orville Wright (1871–1948) og Wilbur Wright (1867–1912) i 1903 utførte den første kontrollerte flyvningen med et motorisert fly. Dette er utvilsomt en av teknologivitenskapens største bragder. Selv om Wright-brødrene tok det siste trinnet, bygget de på resultatene og erfaringene til utallige andre. Brødrene Wrights flyvning representerer noe som er typisk for teknologiforskning, nemlig at riktigheten av et prinsipp bevises ved å bygge en prototype eller eksemplar som virker.

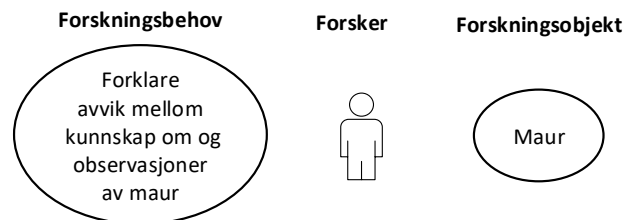
Flyvemaskinen er et godt eksempel på vellykket teknologiforskning, men teknologiforskning kan også mislykkes selv om man prøver aldri så hardt.

Eksempel 2.4 (Drømmen om å lage gull). Et godt eksempel på mislykket teknologiforskning er alkymistenes forsøk på å lage gull fra simple eller billige ingredienser. Gull i seg selv er ikke noe artefakt, men et naturlig grunnstoff. Det var heller ikke gull som var det virkelige målet for deres søken, men et artefakt i form av en prosess eller metode for å fremstille gull på en billig måte. I våre dager er man faktisk i stand til å fremstille gull laboratorielt, men kun ved hjelp av en partikkelakselerator eller atomreaktor [104]. Kostnadene forbundet med den fremstillingen er mange ganger høyere enn markedsprisen på gull.

2.4.2 Forklaringsvitenskap

Vitenskaper som fysikk, kjemi og biologi, i hvert fall som de fremstår tradisjonelt, faller i stor grad inn under hva vi i denne boka kaller forklaringsvitenskap, selv om de også innbefatter aspekter av teknologivitenskap. Også de fleste samfunnsvitenskapene faller inn under dette begrepet.

Definisjon 2.16 *Forklaringsvitenskap* er vitenskap der man fokuserer på å forstå virkeligheten som den er.



Figur 2.2 Forklaringsvitenskap – studium av maur.

Forklaringsvitenskap er i motsetning til teknologivitenskap ikke opptatt av å skape ny teknologi, men fokuserer på å beskrive, forstå og karakterisere lovmessigheter i den virkeligheten som omgir oss. Det vil si å skaffe til veie kunnskap om det som alt eksisterer. Innen forklaringsvitenskap er ofte utgangspunktet et avvik mellom kunnskap og teori på den ene siden, og det vi kan observere på den andre siden. Som antydnet i figur 2.2 det kan være observasjoner av maur som ikke er forenlig med den kunnskapen vi allerede har om maur. Forskeren vil da studere disse fenomenene og prøve å etablere nye forklaringer som utdypet eller forbedrer eksisterende kunnskap. Et berømt eksempel på et slikt avvik mellom observasjon og teori ga opphav til hypotesen om planeten Vulkan [50].

Eksempel 2.5 (Den mørke planeten Vulkan). I 1859 publiserte den franske matematikeren Urbain Le Verrier (1811–1877) en detaljert studie av Merkurs bane som

viste et avvik mellom den observerte banen og hva den burde være i henhold til Isaac Newtons (1643–1727) gravitasjonslære. I et forsøk på å forklare dette avviket postulerte Le Verrier hypotesen at det eksisterer en ukjent planet hvis bane rundt Sola ligger innenfor den til Merkur. Mange astronomer lette intenst etter Vulkan uten at noen lyktes i å gjøre sikre observasjoner. I mangel på sikre observasjoner ble den omtalt som mørk.

Det viste seg senere, nærmere bestemt i 1919, at fenomenet lot seg forklare med Albert Einsteins (1879–1955) relativitetsteori. Dette regnes vanligvis⁴ som den første empiriske bekreftelsen på relativitetsteorien [24].

Også i våre dager leter astronomene etter mørke fenomener. I henhold til gjeldende teori dekkes 23 % av universets samlede energi av mørk masse, og hele 73 % er mørk energi. Om disse fenomenene virkelig eksisterer eller kun er deduksjoner fra feilaktige teorier, er omstridt selv blant ledende fysikere [73].

2.5 Teknologivitenskap versus innovasjon

Mens teknologivitenskap dreier seg om å skape noe nytt, fokuserer innovasjon, som begrepet vanligvis benyttes i dag, på den praktiske utnyttelse og kommersialisering av en ny ide. Ideen kan være en kombinasjon av gamle ideer, et paradigme som bryter med gjengs oppfatning, en formel eller et bestemt opplegg som oppfattes som nytt av de involverte – for de personene eller brukerne dette er tiltenkt eller relevant for [96]. Så lenge ideen oppfattes som ny av de involverte, er den innovativ, selv om andre oppfatter den som en kopi eller imitasjon av noe som allerede finnes andre steder.

Det finnes mange definisjoner av innovasjon. Alt i 1934 definerte økonomen og samfunnsviteren Joseph Schumpeter (1883–1950) innovasjon som nye kombinasjoner av ny eller eksisterende kunnskap, ressurser, utstyr og så videre [25]. Wikipedia [101] foreslår nyvinning som det norske begrepet som mest presist angir hva som menes med innovasjon. Vi baserer oss imidlertid på Stortingsmelding 7: *Et nyskape og bærekraftig Norge* fra 2008 [88] og definerer innovasjon som følger:

Definisjon 2.17 En *innovasjon* er en ny vare, en ny tjeneste, en ny produksjonsprosess, anvendelse eller organisasjonsform som er lansert i markedet eller tatt i bruk i produksjonen for å skape økonomiske verdier.

Den samme stortingsmeldingen sier videre:

En ny ide eller oppfinnelse blir ikke en innovasjon før den har kommet til praktisk anvendelse. Ofte er det andre enn ideskaperen selv som står for selve innovasjonen, som kan finne sted på helt andre steder og lenge etter at ideen ble unnfanget.

⁴ Her er det, som så ofte ellers, delte oppfatninger – se for eksempel [44].

Med andre ord, selv om innovasjon har sin opprinnelse i det latinske ordet *innovare*, som betyr å fornye eller skape noe nytt, så har ikke begrepet innovasjon, som det brukes i dag, fokus på nyskaping, men derimot på den praktiske utnyttelsen eller kommersialiseringen av noe som er nytt i vid forstand.

Det finnes mange former for innovasjon. Følgende klassifisering basert på [37] skiller mellom fire kategorier:

- *Inkrementell innovasjon*: Raffinerer og/eller utvider et eksisterende design eller arkitektur.
- *Modulær innovasjon*: Erstatter en eller flere komponenter i en eksisterende arkitektur med nye, for eksempel et analogt telefonapparat med et digitalt.
- *Arkitekturell innovasjon*: Binder sammen eller kombinerer eksisterende komponenter på en ny måte.
- *Radikal innovasjon*: Etablerer et nytt dominerende konsept basert på nye komponenter og en ny arkitektur.

Overgangen mellom disse kategoriene er gradvis. Det finnes innovasjoner som vanskelig lar seg plassere i bare en av kategoriene, eller befinner seg i grenseland mellom to eller flere.

Innovasjon har ulike drivkrefter. Forskningsdrevet innovasjon er spesielt relevant for denne boka. Her følger et berømt eksempel på nettopp det.

Eksempel 2.6 (Thomas Alva Edison og lyspæren). Mange tenker nok først og fremst på Thomas Alva Edison (1847–1931) som en betydelig oppfinner, og ikke minst som oppfinneren av lyspæren. Edison var utvilsomt en betydelig teknologiforsker, men han var i like stor grad en innovatør, og lyspæren oppfant han faktisk ikke. Edison oppfant den første kommersielt praktiske, hvitglødende lyspæren i 1879. Lyspæren som sådan ble oppfunnet før Edison ble født, og det finnes minst 22 varianter av hvitglødende lyspærer som ble oppfunnet før Edison kom frem til sin versjon i 1879 [27].

Det spesielle med Edisons lyspære var at den kunne tas i praktisk kommersiell bruk, og han sørget selv for kommersialisering ved å etablere nødvendig infrastruktur i form av kraftstasjon og distribusjonsapparat. I 1880 startet nemlig Edison bedriften Edison Illuminating Company. To år senere ble bedriftens kraftstasjon i Pearl Street i New York tatt i bruk, og distribusjonsapparatet sørget for 110 volts likestrøm til 59 kunder i Lower Manhattan.

Innovasjon trenger ikke å være forskningsdrevet. Et eksempel i så måte er brukerdrevet innovasjon, som gjerne oppstår i samarbeid mellom brukere og leverandører, eller når virksomheter aktivt henter inn og gjør anvendelse av brukernes krav, kunnskap, erfaringer og atferd i forbindelse med utvikling av nye varer, prosesser og tjenester [88]. Innovasjon er også ofte kostnadsdrevet. Innovasjonens fokus er da å redusere kostnader i fremstilling av produkter og tjenester.

Kapittel 3

Teknologivitenskapens fremgangsmåte

Det er mange måter å forske på, men ikke alle er like effektive, og noen holder overhodet ikke mål. I dette kapitlet beskriver vi en overordna fremgangsmåte eller prosess for teknologivitenskap, som senere i boka forfines og spesialiseres videre. I kapitlet skisseres lesingens og skrivingens rolle i relasjon til denne prosessen. Videre forklares relasjonen mellom teknologivitenskap og forklaringsvitenskap samt sammenhengen mellom teknologiforskning, aksjonsforskning og teknologiutvikling.

3.1 Fasevis fremgangsmåte

Innen teknologivitenskap er forskningsresultatet alltid et nytt eller forbedret artefakt. Det kan for eksempel være et nytt robotdesign, et nytt dataprogram, en ny konstruksjonsmåte for broer, en ny oppskrift for hostesaft eller et nytt eller forbedret opplegg for pasientbehandling.

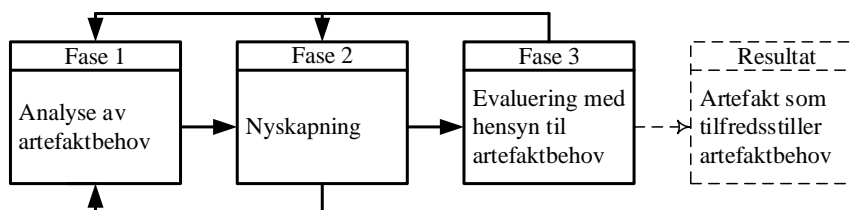
En teknologiforsker vil sjelden levere et fullt ferdig kommersielt artefakt. Som regel er forskerens resultat et design eller en prototype som eventuelt andre kan implementere eller videreutvikle til et produkt. Karakteriseringen av artefaktbehovet er gjerne basert på oppfatningene til eksisterende brukere (hvis det er snakk om å gjøre et eksisterende artefakt bedre) eller til nye eller potensielle brukere (hvis den aktuelle typen artefakt ennå ikke finnes). I tillegg må forskeren ofte forholde seg til ønsker eller synspunkter fra andre interessenter, som de som finansierer forskningen.

Vanligvis er ikke behovet identifisert av forskeren. Behovseier er som regel en (potensiell) interessent. Det kan være en organisasjon (for eksempel en bedrift), en gruppe enkeltpersoner (for eksempel personer med en bestemt lidelse) eller det offentlige. Forskerens oppgave er å skape, finne opp eller forbedre et artefakt som eventuelt kan avhjelpe interessentens behov. Interessenten er opptatt av å få sitt behov tilfredsstilt.

Når artefaktbehovet er karakterisert, er det opp til forskeren å fremstille eller finne opp et artefakt som tilfredsstiller dette behovet. Forhåpentligvis har forskeren

en ide eller hypotese med hensyn til fremgangsmåte og/eller løsning, eller i det minste tro på at det er mulig å tilfredsstillere artefaktbehovet.

Når et nytt artefakt foreligger, vil forskeren prøve å vise at det faktisk tilfredsstiller det (potensielle) behovet som var utgangspunktet. Den endelige hypotesen som skal evalueres, er ganske enkelt at det nye artefaktet som det foreligger, tilfredsstiller det identifiserte behovet. Dersom evalueringen er positiv, kan forskeren hevde å ha lyktes. Dersom resultatene spriker, og dette ikke skyldes evalueringsfeil, må enten behovskarakteriseringen justeres, eller så må det utarbeides et nytt eller forbedret artefakt som igjen må evalueres.



Figur 3.1 Fremgangsmåte for forskning innen teknologivitenskap.

Fremgangsmåten for teknologiforskning består av tre faser (se figur 3.1):

- Fase 1 – *Analyse av artefaktbehov*: Forskeren karakteriserer et potensielt behov for et nytt eller forbedret artefakt. Ofte er det i utgangspunktet uklart for forskeren hva dette behovet egentlig består i, da forskeren som regel ikke er behovseier. Det kan derfor være krevende å få behovet klarlagt og dokumentert på en egnet måte.
- Fase 2 – *Nyskaping*: Forskeren forsøker å skape, oppfinne eller lage et artefakt som tilfredsstiller artefaktbehovet. Dette er den kreative delen av teknologiforskning. Her skjer nyskapingen. Det formuleres (mer eller mindre) spenstige hypoteser og nye ideer kles ut. Noen ganger er nyskapingen beskjeden, men likevel nyttig, for eksempel adaptasjon av et eksisterende artefakt for å dekke et nytt behov. Andre ganger kan nyskapingen være banebrytende.
- Fase 3 – *Evaluering med hensyn til artefaktbehov*: Forskeren evaluerer om artefaktet tilfredsstiller det identifiserte behovet. Dette vil ofte innebære flere eksperimenter eller ulike former for undersøkelser.

Beskrivelsen over gir inntrykk av at teknologiforskning utføres av enkeltpersoner. Det er som regel ikke tilfelle, men en forenkling som gjør det lettere å vise de ulike fasene (og som jeg også benytter meg av senere i boka). Som regel er det snakk om en gruppe teknologiforskere, og ofte er det slik at gruppas ulike medlemmer tar seg av ulike oppgaver. Det kan for eksempel være slik at den forskeren som kartlegger behovet, ikke er den samme som gjennomfører evalueringen.

For å få litt mer klarhet i hva de tre fasene beskrevet over innebærer, skal vi se nærmere på et eksempel fra vitenskapshistorien, nemlig oppfinnelsen av teleskopet. Dette er en myteomspunnet hendelse. Vår fremstilling baserer seg på [31].

Eksempel 3.1 (Teleskopet). Teleskopet ble reoppfunnet¹ av den hollandske brillemakeren Hans Lipperhey (1570–1619) i 1608. Galileo Galilei (1564–1642) hørte første gang rykter om dette instrumentet i Venezia i 1609. Galilei så det kommersielle potensialet i teleskopet. Da han fikk høre at en hollender var på vei til Venezia for å selge instrumentet, bygget han en vesentlig bedre versjon i løpet av 24 timer uten å vite annet om instrumentets design enn at det involverte to linser og en sylinder. Lipperhey brukte to konkave linser med det resultat at det observerte fenomenet ble avbildet opp ned. Galileis teleskop avbildet derimot rettvendt fordi han brukte en konkav og en konveks linse. I løpet av kort tid videreutvikla Galilei sin versjon til å forstørre ti ganger, mens Lipperheys teleskop kun greide tre.

Hvordan skal Galileis bidrag forstås i relasjon til fremgangsmåten for teknologiforskning? La oss for enkelhets skyld anta at Galilei visste at Lipperheys teleskop avbildet opp ned og kun forstørret tre ganger. Artefaktbehovet som Galilei ønsket å tilfredsstillere, kan da uttrykkes som følger:

Det er behov for et instrument som forstørrer minst fire ganger, og som avbilder rettvendt.

At instrumentet (1) *forstørrer minst fire ganger* og (2) *avbilder rettvendt*, kan vi tenke på som suksesskriterier som Galilei ønsket å tilfredsstillere. Nå vet vi ikke hvordan Galilei tenkte, men med hensyn til suksesskriterium (2) kunne Galilei ha formulert følgende hypotese:

Ved å bruke et par av en konkav og en konveks linse istedenfor et par av konkave linser er det mulig å lage en variant av Lipperheys teleskop som avbilder rettvendt.

Dette er et eksempel på hva vi i denne boka kaller en eksistensiell hypotese. Den er eksistensiell fordi den kun påstår at det er mulig å lage minst et eksemplar av noe. Den sier ikke at enhver variant av Lipperheys teleskop basert på et par av konkave og konvekse linser vil avbilde rettvendt, men at minst en slik variant vil gjøre det. Evalueringen av en eksistensiell hypotese består normalt i å prøve å bygge (eller i det minste sannsynliggjøre eksistensen av) det potensielle artefaktet, og det var nettopp det Galilei gjorde.

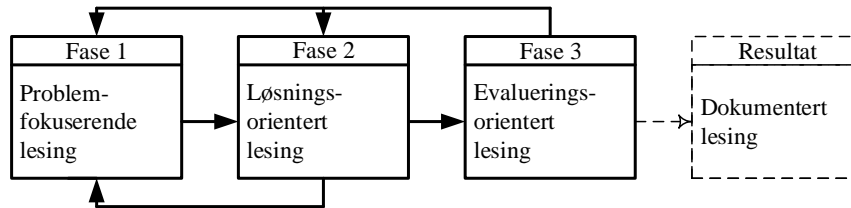
3.2 Lesingens rolle

En god forsker må være oppdatert på sitt forskningsfelt. Det innebærer å ha oversikt over det som foreligger av kunnskap innenfor det området hvor han eller hun forsker. Det er imidlertid ikke slik at man må lese i mange år (etter endt utdanning) før man

¹ Den engelske astronomen Leonard Digges (ca. 1515–ca. 1559) regnes som den egentlige oppfinneren av teleskopet. Det skjedde mer enn 50 år før Lipperhey og Galilei oppfant sine versjoner (men trolig hadde hverken Lipperhey eller Galilei kjennskap til Digges' teleskop).

overhodet kan tenke på å forske. For det første arbeider forskere som regel i grupper hvor noen har erfaring og besitter en oversikt over feltet. For det andre, hvis feltet er smalt nok, er det ikke så krevende å lese seg opp, og unge forskere arbeider gjerne innenfor svært smale områder til å begynne med.

Figur 3.2 karakteriserer lesingens rolle i relasjon til fremgangsmåten for teknologiforskning presentert i figur 3.1.



Figur 3.2 Lesingens rolle i fasevis fremgangsmåte.

- *Problemfokuserende lesing*: Innen teknologiforskning består problemet i å finne opp et nytt artefakt med et potensielt behov for øye. Den problemfokuserende lesingen dreier seg om to ting:
 1. Skaffe seg kunnskap om behovet (for eksempel publisert kunnskap om treningsbehovene til slagpasienter hvis man skal lage et treningsapparat for slike).
 2. Skaffe seg kunnskap om egnetheten til allerede eksisterende teknologi (hvis noen av treningsbehovene til slagpasienter dekkes tilfredsstillende av eksisterende teknologi, kan problemet forenkles eller spisses).

Problemet er som regel ikke klart spesifisert når forskningen starter opp, og den problemfokuserende lesingen utføres som en del av problemanalysen. Ofte har vi innledningsvis kun en grovkornet skisse eller overordna forståelse av den relevante problematikken. På grunnlag av denne grovkissen bestemmes retningen på den innledende lesingen. Den vil forhåpentligvis føre til en noe mer presis problemkarakterisering, som igjen kan brukes til å spisse lesingen videre, og slik kan man fortsette inntil problemet er klart spesifisert.

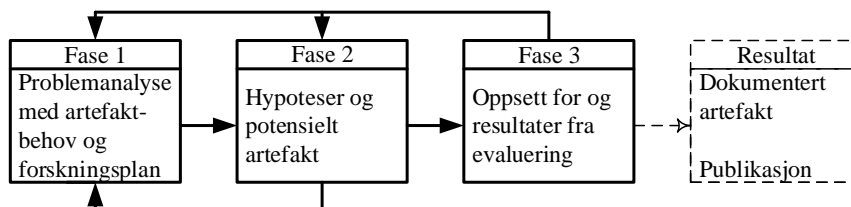
- *Løsningsorientert lesing*: Dette er en langt mer spesialisert og dyptpløyende form for lesing. Nå er det ikke nødvendigvis så mye litteratur å velge mellom. Det er mer et spørsmål om å skaffe seg skikkelig oversikt over hvilke løsningsalternativer som finnes, og i hvilken grad de egner seg i vår sammenheng.
- *Evalueringsorientert lesing*: Også den evalueringsorienterte lesingen er vanligvis ganske spisset. Her er fokuset på hvordan å evaluere eller teste om artefaktet vi har laget, tilfredsstillende behovet.
- *Dokumentert lesing*: Når vi har kommet så langt at en artikkel eller rapport skal skrives, må vi få frem hva det nye artefaktet gjør bedre eller annerledes enn hva

som allerede er publisert. For å sannsynliggjøre at vi ikke har uteglemt viktige konkurrerende bidrag, er det nyttig å dokumentere på hvilken måte eller i henhold til hvilke prinsipper vi har valgt ut den litteraturen eller det materialet som vi sammenligner med. Dokumentasjonen kan bestå i hvilke søkemotorer og/eller databaser vi har brukt, med hvilke søkeord og på hvilket tidspunkt vi har søkt.

3.3 Skrivingsrolle

Viktigheten av å skrive tidlig og under hele forskningsprosessen kan ikke understrekes nok. Skriftlig formulering og presisering av ideer fremmer forskningens effektivitet. Ofte er skriftlig kommunikasjon (gjerne understøttet av tale) å foretrekke fremfor ren tale selv når forskere befinner seg på taleavstand.

Figur 3.3 karakteriserer skrivingsrolle med hensyn til fremgangsmåten for teknologivitenskap presentert i figur 3.1.



Figur 3.3 Skrivingsrolle i fasevis fremgangsmåte.

- *Problemanalyse med artefaktbehov og forskningsplan:* Fase 1 innebærer gjennomføring av en problemanalyse. Resultatet av denne må dokumenteres. Spesielt er det viktig at artefaktbehovet er klart beskrevet. I tillegg bør det foreligge en skriftlig plan.
- *Hypoteser og potensielt artefakt:* Hypotesene er utgangspunktet for evalueringen. En teknologivitenskapelig hypotese refererer vanligvis til en beskrivelse av selve nyskapningen – det artefaktet vi har kommet frem til. Både hypoteser og artefakter må dokumenteres på en ryddig måte.
- *Oppsett for og resultater fra evaluering:* Det er viktig at så vel evalueringssoppsett som evalueringresultater beskrives presist og etterprøvbart.
- *Dokumentert artefakt og publikasjon:* Det endelige artefaktet må dokumenteres på en ryddig måte. Dessuten vil en forsker ønske å offentliggjøre resultatet, for eksempel i form av en artikkel.

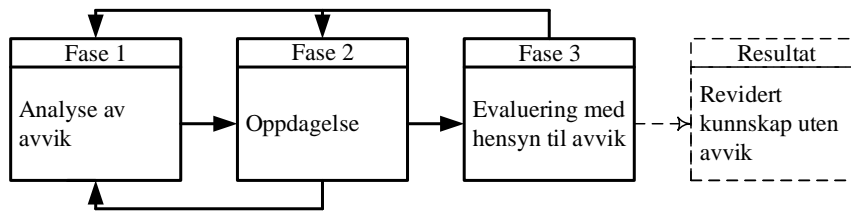
Skrivingsrolle er spesiell innen teknologivitenskap på den måten at en vesentlig del av skrivearbeidet dreier seg om å dokumentere det nye artefaktet. Derfor er

artikkelskriving innen teknologivitenskap noe annerledes enn innen forklaringsvitenskap. Det kommer vi tilbake til i kapittel 13.

3.4 Sammenligning med forklaringsvitenskap

I kapittel 2 gjorde vi et skille mellom teknologivitenskap og forklaringsvitenskap. I forklaringsvitenskap er man opptatt av å forstå virkeligheten som den er, mens teknologivitenskap leverer resultater i form av *nye* artefakter. Forklaringsforskning kan også dreie seg om artefakter, nemlig allerede *eksisterende* artefakter. Det gjelder spesielt samfunnsvitenskapene. Hva ville for eksempel arkeologi vært uten artefakter? På den annen side er utgangspunktet for teknologiforskning et (potensielt) artefaktbehov som eksisterer i virkeligheten.

Det er ønsket om å forstå virkeligheten, som er drivkraften i forklaringsvitenskap, mens det for den teknologivitenenskapelige forskeren er ideen om det nye artefaktets evne til å tilfredsstille menneskelige behov som er motivasjonen.



Figur 3.4 Fremgangsmåte for forskning innen forklaringsvitenskap.

Figur 3.4 illustrerer de tre hovedfasene innen forklaringsvitenskap. De kan oppsummeres som følger:

- Fase 1 – *Analyse av avvik*: Det er behov for ny kunnskap. Enten mangler vi kunnskap om et fenomen i virkeligheten, eller så stemmer eksisterende kunnskap ikke overens med visse observasjoner av virkeligheten. I begge tilfeller er det snakk om et avvik mellom vår kunnskap og virkeligheten.
- Fase 2 – *Oppdagelse*: Forskeren prøver å justere eller utvide eksisterende teori, forklaringer eller forståelse i tråd med observasjoner. Forskerens hypotese er at den nye potensielle kunnskapen stemmer overens med virkeligheten.
- Fase 3 – *Evaluering med hensyn til avvik*: Med utgangspunkt i hypotesen gjøres prediksjoner om observerbare fenomener – for eksempel om utfallet av et eksperiment. Avhengig av resultatet styrkes eller svekkes tiltroen til hypotesen.

For å forklare nærmere hva den fasevise prosessen over egentlig innebærer, skal vi se nærmere på to eksempler fra vitenskapshistorien. Vi starter med oppdagelsen av blodomløpet [31], [42].

Eksempel 3.2 (Blodmløpet). I henhold til etablert medisinsk teori på 1500-tallet ble blodet produsert i leveren og deretter fraktet ut i kroppen gjennom venene og brukt opp som næring til vevet underveis. Arteriene fraktet vitalitet fra lungene og ut i kroppen. William Harvey (1578–1657) målte hjertets pumpekapasitet og kom til at hjertet pumpet ut 260 liter i timen. Dette var uforenlig med at blodet ble produsert i leveren og deretter brukt opp uten å sirkulere, for hvordan kan leveren produsere hele 260 liter blod i timen? Harvey oppdaget også at ventilene i venene er enveis og kun tillater flyt mot hjertet – altså i direkte motstrid med gjeldende teori. Så her var det helt klart et stort avvik mellom eksisterende kunnskap og hva man kunne observere. Et suksesskriterium for Harveys forskning var derfor å komme opp med en forbedret teori for blodmløpet som i motsetning til eksisterende teori var forenlig med at hjertet pumpet ut 260 liter i timen, og at ventilene i venene er enveis og kun tillater flyt mot hjertet.

William Harvey postulerte hypotesen at blodet i et menneske sirkulerer, og at venene transporterer tilbake det som arteriene transporterer ut. Han testet hypotesen ved å binde et tau rundt en arm. Arteriene ligger dypere under overflaten enn venene, så ved å løsne litt på tauet kunne blodet flyte ned gjennom armen, men ikke opp via venene, hvilket førte til at venene på nedsiden av tauet svulmet.

I et forskningsmetodisk perspektiv kan man si at Harvey testet hypotesen ved hjelp av følgende skjemaer.

- *Eksisterende kunnskap:* – Et tau rundt en menneskearm må strammes vesentlig hardere for å klemme igjen arteriene enn for å klemme igjen venene da arteriene ligger dypere under huden enn venene.
- *Prediksjon:* – Hvis man først binder et tau rundt armen på et menneske, og deretter løsner litt på dette tauet, vil venene på nedsiden av tauet svulme.

Eksisterende kunnskap som vi har stor tiltro til, postuleres som premisser. Prediksjoner forutsier utfallet av konkrete tester. Harveys test representerer et forsøk på å falsifisere hypotesen. Premissen utgjør en antagelse hvis sannhet er en forutsetning for testen. Prediksjonen om utfallet av testen er en logisk konsekvens av hypotesen og premissen. Det betyr at hvis prediksjonen feiler, så er enten hypotesen eller premissen falsk. Med andre ord, hvis prediksjonen feiler og vi har stor tiltro til premissen, kan vi konkludere med at hypotesen sannsynligvis er falsk.

Et annet eksempel på forklaringsforskning er oppdagelsen av Neptun [31].

Eksempel 3.3 (Oppdagelsen av Neptun). I 1781 oppdaget den tysk-engelske astronomen William Herschel (1738–1822) planeten Uranus. Ganske snart viste det seg imidlertid å være visse problemer med Uranus, idet dens bane ikke var slik den skulle være ifølge Newtons lover. Det var derfor behov for å revidere eksisterende kunnskap for å eliminere dette avviket i forhold til hva som kunne observeres.

Alt i 1824 formulerte den tyske astronomen og matematikeren Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) hypotesen at uregelmessighetene til Uranus i forhold til Newtons lover skyldes gravitasjonsfeltet fra en ukjent planet.

I et notat som ble presentert for det franske vitenskapsakademiet 31. august 1846, postulerte matematikeren Urbain Le Verrier, som vi alt kjenner fra eksempel 2.5, baneparameterne for den nye planeten samt dens vinkeldiameter. Le Verriers hypotese representerte en spesialisering av hypotesen til Bessel som det var langt lettere å evaluere, ikke minst fordi planeten selv i et teleskop av moderat størrelse burde fremtre som en skive, ikke bare som et stjerneliknende punkt. 23. september 1846 rettet Johann Gottfried Galle (1812–1910) ved Berlin-observatoriet teleskopet mot den predikerte posisjonen: Rektasensjon 22 timer og 46 minutter og deklinasjon -13 grader 24 minutter. Mindre enn 1 time etter at de startet, beskrev Galle en stjerne av størrelsesklasse 8 ved en posisjon nær startposisjonen for letingen som hans assistent ikke fant på stjernekartet. Neste natt kunne de konstatere at «den nye stjernen» hadde flyttet på seg, hvilket indikerte at det dreide seg om en planet.

Selv om Le Verrier tok feil med hensyn til Vulkan, så hadde han altså rett i sine prediksjoner om Neptun, og det var nok berømmelsen fra den sistnevnte oppdagelsen som førte til all interessen for Le Verriers hypotese om eksistensen av Vulkan.

Hittil har jeg vært mest opptatt av å beskrive *forskjellene* mellom forklaringsforskning og teknologiforskning. Figurene 3.1 og 3.4 antyder imidlertid at forklaringsforskning og teknologiforskning også har mye til felles, og følger et beslektet mønster. Tabell 3.1 fremhever dette mønstret ved å sammenligne essensen i teknologiforskning med essensen i forklaringsforskning.

Tabell 3.1 Teknologiforskning versus forklaringsforskning

	Forklaringsforskning	Teknologivitenskapelig forskning
Problem	Avvik mellom teori og observert virkelighet	Utilfredsstilt artefaktbehov
Løsningen som etterstrebes	Ny kunnskap om virkeligheten	Nytt artefakt
Løsningen skal sammenlignes med	Relevant del av virkeligheten	Artefaktbehov
Overordna hypotese	Ny kunnskap samsvarer med observert virkelighet	Nytt artefakt tilfredsstillende artefaktbehov

Innen forklaringsforskning er problemet at eksisterende kunnskap ikke forklarer eller stemmer overens med den observerte virkeligheten, mens det innen teknologiforskning er et utilfredsstilt artefaktbehov. Løsningen som søkes, er innen forklaringsforskning ny kunnskap om virkeligheten, mens det er et nytt artefakt innen teknologiforskning. For å finne ut om en potensiell løsning holder mål, må løsningen evalueres:

- Innen forklaringsforskning sammenligner vi den potensielle nye kunnskapen med en relevant del av virkeligheten. Den overordnede hypotesen er at den po-

tensielle nye kunnskapen stemmer overens med observasjoner av denne virkeligheten.

- Innen teknologiforskning sammenligner vi det nye artefaktet med artefaktbehovet. Den overordnede hypotesen er at nyskapningen i form av et artefakt tilfredsstillende artefaktbehovet.

I begge variantene kan den overordnede hypotesen skrives på formen B løser problemet A . A er utilfredsstillende kunnskap om virkeligheten, eller et utilfredsstillende artefaktbehov. B er den nye kunnskapen, eller det nye artefaktet, som løser det identifiserte problemet.

3.5 Sammenligning med aksjonsforskning

Sosiale strukturer som bedrifter, institusjoner, prosesser og prosedyrer er også artefakter. De er designet av mennesker for å tilfredsstillende menneskelige behov. Sosiale strukturer er ofte svært krevende å evaluere. Det er vanskelig, og ofte praktisk umulig, å gjennomføre studier på en slik måte at resultatet ikke påvirkes av utenforliggende faktorer. I så fall er aksjonsforskning et nyttig verktøy for å prøve ut ulike designalternativer.² Litt forenklet består aksjonsforskning av en totrinns prosess:

1. Analyse av en sosial situasjon utført i fellesskap av forskere og involverte.
2. Endringseksperimenter og effektanalyse utført i fellesskap av forskere og involverte.

I likhet med den teknologivitenskapelige forskeren er aksjonsforskeren som regel ikke problemeier. Det finnes altså et sosialt forskningsobjekt (virksomhet, organisasjon eller samfunnsstruktur) og en oppdragsgiver eller part som aksjonsforskeren må forholde seg til. Oppdragsgiveren er ikke nødvendigvis en representant for forskningsobjektet, men i det følgende antar vi for enkelthets skyld at oppdragsgiveren representerer det sosiale objektet som skal utforskes. Når vi i det følgende refererer til objektets representanter, så innbefatter det så vel interessenten, som typisk er en beslutningstaker innenfor objektet, og andre representanter for objektet som involveres i forskningen. Aksjonsforskeren og objektets representanter må først komme frem til en felles forståelse av det problemet de vil løse. Deretter må de bli enige om hvilke aksjoner som er hensiktsmessige for å oppnå den ønskede forbedringen. Den

² Aksjonsforskning oppsto på midten av det tjuende århundret innenfor sosialpsykologi [52], [93], og har senere vært brukt innenfor samfunnsforskning og medisin. Etter hvert har det blitt mange varianter av aksjonsforskning. Eksempler er aksjonslæring, deltagende observasjon og klinisk feltarbeid. Selv om aksjonsforskning refererer til termen forskning, er noe av det som betegnes som aksjonsforskning, ikke forskning i streng betydning, men snarere rådgiving. Aksjonsforskningslitteraturen er lite presis med hensyn til sin grunnleggende terminologi. Termen aksjonsforskning brukes både til å betegne en hel klasse av samfunnsvitenskapelige aksjonsmetoder samt til å karakterisere en underklasse av disse [4].

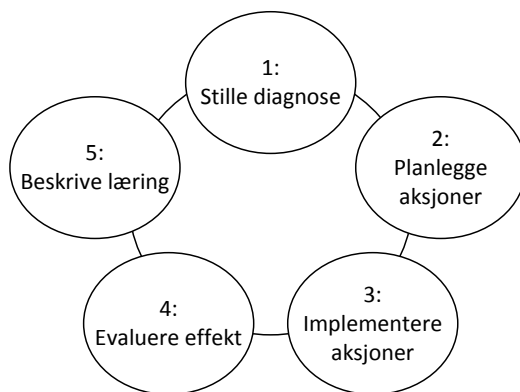
overordnede hypotesen er at utførelse av de planlagte aksjonene vil redusere eller eliminere problemet.

Etterprøvingen av hypotesen gjennomføres innenfor objektet selv (med andre ord innenfor den virksomheten, den organisasjonen eller de sosiale strukturene som er gjenstand for forskningen) og innebærer å utføre og evaluere aksjonene. Aksjonsforskeren deltar i aksjonene sammen med objektets representanter. Aksjonsforskeren opptrer altså som en del av sitt eget forskningsobjekt. Dette er en vanskelig balansegang som aksjonsforskeren må kunne takle.

Aksjonene kan dreie seg om å endre enkeltpersoners roller, ansvar og/eller oppgaver eller kreve at de utvikler nye ferdigheter. Også objektets struktur og systemer kan bli endret. Derfor er det nødvendig med en grundig vurdering av situasjonen både før og etter aksjonsutførelsen.

Aksjonsforskeren og objektets representanter må gå gjennom resultatene på en systematisk og kritisk måte for å finne ut hva de har lært. De må først og fremst vurdere om de gjennomførte aksjonene hadde den ønskede effekten, isolert sett. Hvis svaret er ja, er det nødvendig å undersøke om det opprinnelige problemet er løst. Hvis problemet viser seg å være løst, må de finne ut om dette skyldes de gjennomførte aksjonene, eller om det skyldes andre årsaker. En annen type lærdom gjelder aksjonsforskning som rammeverk. I hvilken grad var det aktuelle rammeverket nyttig for denne typen problem, og på hvilken måte bør det eventuelt justeres på grunnlag av erfaringene.

Dersom aksjonene løste problemet, er trolig aksjonsforskeren og oppdragsgiver fornøyd. Hvis aksjonene derimot ikke hadde den ønskede effekt, trengs en revurdering av fremgangsmåten. Det kan bli nødvendig med en ny aksjonsplan, og kanskje må også problemet reformuleres. Aksjonsforskning er altså en iterativ prosess, på linje med teknologiforskning og forklaringsforskning.

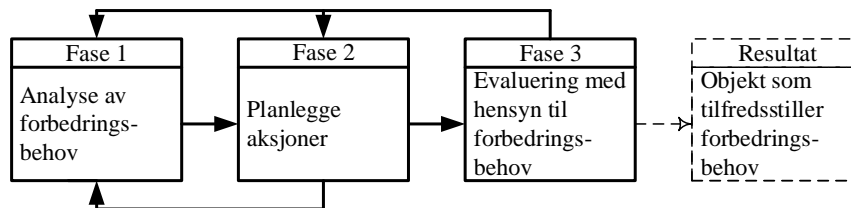


Figur 3.5 Aksjonsforskningens sykliske prosess.

Figur 3.5 presenterer aksjonsforskningens fem faser i henhold til [89] :

1. *Stille diagnose*: Identifisere problemer og de underliggende årsakene til ønsket om forbedring eller endring. Utføres av forskerne og objektets representanter i fellesskap. Resultatet er en beskrivelse av problemområder og det sosiale objektets behov for forbedring.
2. *Planlegge aksjoner*: Aksjonene for å løse eller avhjelpe problemer planlegges. Planleggingen gjøres av aksjonsforskerne og objektets representanter i fellesskap.
3. *Implementere aksjoner*: Aksjonene utføres i henhold til planen. Objektets representanter og aksjonsforskerne samarbeider.
4. *Evaluere effekt*: Effekten evalueres uansett utfall, og igjen som et samarbeid mellom de involverte. Hadde aksjonene den ønskede effekten isolert sett, og løste de i så fall problemene som var utgangspunktet for ønsket om forbedring eller endring? I motsatt fall er det kanskje nødvendig å revurdere fremgangsmåten.
5. *Beskrive læring*: Resultatet er forhåpentligvis av interesse både for en selv og andre, og den nye kunnskapen må dokumenteres.

Ved første øyekast kan det se ut til at aksjonsforskning er basert på et helt annet mønster enn forskning innen teknologi- og forklaringsvitenskap. Men tar vi aksjonsforskningens fem faser i nøyere ettersyn, ser vi at de passer ganske godt inn i den strukturen vi har fra før (figur 3.6). Å stille diagnose tilsvarer å karakterisere problemet; å planlegge aksjoner tilsvarer å etablere hypotesen, og å utføre aksjoner og evaluere effekt svarer til etterprøving av hypotesen. Å beskrive læring svarer til skriving, som helt analogt med skriving innen teknologiforskning, se seksjon 3.3, er en viktig ingrediens i hele prosessen.



Figur 3.6 Fremgangsmåte for aksjonsforskning.

De tre hovedfasene er oppsummert under:

- Fase 1 – *Analyse av forbedringsbehov*: I samarbeid med objektets representanter identifiseres behovet for endring.
- Fase 2 – *Planlegge aksjoner*: I samarbeid med objektets representanter utarbeides et sett av aksjoner som til sammen skal ha den ønskede effekt.
- Fase 3 – *Evaluering med hensyn til forbedringsbehov*: Evalueringen består i å utføre aksjonene og evaluere resultatet – igjen i samarbeid med objektets representanter.

Ettersom aksjonsforskning føyer seg inn i mønstret til teknologiforskning, er det naturlig å spørre seg hva de faktisk har til felles. Er de i bunn og grunn samme sak, eller er det ene et spesialtilfelle av det andre? I tabell 3.2 sammenlignes essensen i teknologiforskning med essensen i aksjonsforskning. Utgangspunktet for begge variantene er et behov. I teknologiforskning er det behov for et nytt artefakt, mens aksjonsforskning adresserer et forbedringsbehov i et sosialt objekt. Løsningen man søker, er i teknologiforskning et nytt artefakt som tilfredsstiller behovet. Innenfor aksjonsforskning er løsningen et endret sosialt objekt som tilfredsstiller endringsbehovet. Et sosialt objekt kan også forstås som et menneskeskapt objekt og dermed, i en vid tolkning, et artefakt. I begge variantene er den overordnede hypotesen på formen B løser problemet A , hvor B er et nytt artefakt som tilfredsstiller det behovet som er identifisert.

Tabell 3.2 Teknologiforskning versus aksjonsforskning

	Aksjonsforskning	Teknologivitenskapelig forskning
Problem	Utilfredsstilt endringsbehov	Utilfredsstilt artefaktbehov
Løsningen som etterstrebes	Endret sosialt objekt	Nytt artefakt
Løsningen skal sammenlignes med	Endringsbehov	Artefaktbehov
Overordna hypotese	Endret sosialt objekt tilfredsstiller endringsbehov	Nytt artefakt tilfredsstiller artefaktbehov

I den grad man er villig til å akseptere en sosial struktur som et artefakt, kan altså aksjonsforskning forstås som et spesialtilfelle av teknologiforskning, nemlig et spesialtilfelle hvor forskeren selv inngår som en del av objektet som er gjenstand for aksjoner og granskning.

Vårt eksempel på aksjonsforskning er hentet fra antropologien, nemlig et studium av meskwaki-folket, en innfødt folkegruppe fra Midtvesten i USA [63].

Eksempel 3.4 (Meskwaki-folket). En variant av aksjonsforskning er kjent som aksjonsantropologi. Aksjonsantropologien oppsto som et resultat av et antropologisk grunnforskningsprosjekt som Sol Tax (1907–1995) ved Universitetet i Chicago startet opp i 1948. Målsetningen var å studere meskwaki-folket (også kjent som fox-folket), men etter hvert som forskningsarbeidet skred frem, ble forskerne interessert i meskwaki-folkets daværende problemer, og de ble også tiltrukket til dem som et folk. Fra dette oppsto det et ønske blant forskerne om å hjelpe meskwaki-folket i å håndtere disse problemene.

Meskwaki-folket har tradisjonelt oppfattet seg som mislykket i omgang med mennesker av europeisk opprinnelse. I verdisystemet til amerikanere av europeisk opprinnelse er idealet å realisere seg selv gjennom hardt arbeid og forsakelse.

Meskwaki-folket er derimot tilfreds med å akseptere seg selv som de er. De er kun motivert av eksterne faktorer og ikke interne moralske sanksjoner. De søker sosial aksept og frykter fordømmelse. Denne holdningen har tradisjonelt blitt tolket som latskap av hvite amerikanere. De ser derfor ned på meskwaki-folket, som føler skyld og oppfatter seg selv som mislykket.

Det ble gjort to antropologiske forsøk på å bøte på denne situasjonen. Det første dreide seg om opplysningsarbeid rettet mot den hvite befolkningen, mens det andre fokuserte på å hjelpe meskwaki-folket til å hjelpe seg selv. I det første tilfellet var hypotesen at opplysningsarbeid rettet mot hvite amerikanere vil endre deres holdning til meskwaki-folket, hvilket igjen vil redusere de sistnevntes skyldfølelse.

I det andre tilfellet var en av hypotesene at ved å hjelpe utvalgte medlemmer av meskwaki-folket med et kunstnerisk talent til å etablere en suksessfull håndverksbedrift så vil deres selvtillit øke fordi (1) det viser seg at de kan operere effektivt innen amerikansk økonomi, og (2) deres inntekter øker substansielt.

3.6 Sammenligning med teknologiutvikling

Innenfor teknologifagene er forskning og utvikling så tett sammenfiltret at det har en egen betegnelse, nemlig *FoU*, som står for «Forskning og Utvikling». Mange, kanskje de fleste, forskningsprosjekter innen teknologivitenskap vil innbefatte aspekter av ren teknologiutvikling – aspekter som ikke representerer forskning. På den annen side finnes det også prosjekter som kun dreier seg om utvikling uten noen form for forskning i vår betydning. Mange industriprosjekter hører hjemme i denne kategorien.

For å avgjøre om vi bedriver teknologivitenskap eller ren teknologiutvikling kan vi utføre en test. Den består i å besvare tre spørsmål:

1. Representerer artefaktet (eller et aspekt ved artefaktet) ny kunnskap?
2. Har den nye kunnskapen interesse for andre?
3. Er den nye kunnskapen dokumentert på en slik måte at den kan etterprøves?

Svarer vi ja på alle tre spørsmål, så er vi teknologivitenskapelige forskere, i motsatt fall bedriver vi ren teknologiutvikling.

Eksempel 3.5 (Anskaffelsessystem). En stor bedrift har behov for å fornye sitt IT-system for anskaffelser av materiell. Det viser seg at ingen standardsystemer tilfredsstiller behovet til brukerne i denne bedriften. Heller ikke andre bedrifter av tilsvarende type (og som vår bedrift kjenner til) kan skilte med et system som dekker det aktuelle behovet. Derfor trenger man å bygge vesentlige deler av anskaffelsessystemet fra bunnen av. Bedriftens IT-folk samarbeider med kollegaer for å spesifisere det systemet som skal lages. Etter mange runder med programmering, prøving og nye krav er systemet klart til bruk. Det viser seg at et flertall av brukerne er fornøyd med resultatet, fordi de nå har fått enklere arbeidsrutiner og bedre oversikt over anskaffelsene, og dessuten kan avse tid til oppgaver som tidligere ble forsømt.

I dette tilfellet ble resultatet en suksess ettersom artefaktet, det nye anskaffelsessystemet, tilfredsstilte det behovet som var avdekket i bedriften. La oss nå prøve å svare på de tre spørsmålene som ble stilt innledningsvis:

1. Representerer artefaktet (eller et aspekt av det) ny kunnskap? Ser vi på det nye anskaffelsessystemet for seg, kan det tenkes at dette systemet er det eneste i sitt slag. Men det er ikke nødvendigvis avgjørende. Det vesentlige spørsmålet er om noe av systemet (eller en bestanddel av systemet som dets arkitektur) representerer ny kunnskap, og om denne kunnskapen kan ha betydning for andre som skal lage lignende systemer. Dette leder hen til neste spørsmål, som gjelder relevans.
2. Har den nye kunnskapen interesse for andre? Det er slett ikke sikkert at det nye anskaffelsessystemet har interesse utenfor den bedriften som eier det. På den annen side kan systemet eller noen av dets bestanddeler ha interesse dersom prinsippene de bygger på, er nye og kan gjenbrukes i andre sammenhenger.
3. Er den nye kunnskapen dokumentert på en slik måte at den kan etterprøves? Suksesshistorier uten dokumentasjon blir kun løse påstander. Forskning krever etterprøvbare dokumentasjon, det vil si at arbeidet skal være så godt beskrevet at andre skal kunne etterprøve og verifisere det. Momenter som kan tenkes å trekke resultatet i tvil, må også gjøres rede for og drøftes.

Et resultat som tilfredsstillende de tre kriteriene over, representerer forskning og er dermed verdt publisering. Poenget med publisering er å gjøre resultatet kjent blant andre forskere og andre potensielle interessenter. På den måten kan resultatet debatteres og eventuelt utsettes for kritikk, samt bidra til videre forskning og/eller utvikling. Formidlingsprosessen er derfor av stor betydning både for forskningen og for samfunnet for øvrig, og den kommer vi tilbake til i kapittel 12.

3.7 Hybrider av ulike typer forskning

Som allerede påpekt involverer mange teknologivitenskapelige forskningsprosjekter aspekter av utvikling. Det kan derfor med en viss rett sies å være en glidende overgang mellom teknologiforskning og teknologiutvikling. Det er også slik at mange teknologivitenskapelige forskningsprosjekter innbefatter underprosjekter som er forklaringsforskning, mens forklaringsforskning ofte forutsetter teknologiforskning. Et typisk eksempel på det siste er utforskningen av verdensrommet. For å kartlegge universets fjerne regioner trenger man avanserte instrumenter som Hubbleteleskopet. Selve kartleggingen er forklaringsforskning, mens byggingen av de spesialiserte instrumentene innebærer teknologiforskning.

Selv om svært mange forskningsprosjekter involverer kombinasjoner av ulike typer forskning, er det likevel viktig å være bevisst på hvilken type forskning vi bedriver. En grunn er det forskningsmetodiske. Teknologiforskning gjør bruk av andre forskningsmetoder enn for eksempel forklaringsforskning. En annen grunn er publiseringsrelatert. Innen teknologiforskning vil en vitenskapelig artikkel vie mye

plass til beskrivelse av selve teknologien eller nyskapningen, mens en vitenskapelig artikkel innen forklaringsforskning vil ha et helt annet fokus. Den aller viktigste grunnen er imidlertid behovet for presisjon. Når man skal starte opp et nytt prosjekt, lønner det seg å dele opp prosjektet i dets enkelte bestanddeler og karakterisere de ulike bestanddelenes leveranser hver for seg. Prosjektet nevnt over som fokuserte på universets fjerne regioner, bør for eksempel deles opp på en slik måte at forklaringsforskningen og teknologiforskningen kan bedrives hver for seg med et klart definert grensesnitt.

Et berømt eksempel på hvordan forklaringsforskning kan understøtte teknologiforskning, er Semmelweis' utarbeidelse av renslighetsprosedyrer for å redusere forekomsten av barsel-feber.

Eksempel 3.6 (Barsel-feber). Mange medisinske forskningsprosjekter kan deles opp i to hovedkomponenter, hvor den første er forklaringsorientert og dreier seg om å identifisere årsaken til et eller annet medisinsk problem eller sykdom, mens den andre er teknologisk og fokuserer på utarbeidelse av artefakter for å håndtere årsaken identifisert av den første hovedkomponenten. Artefaktene kan være en ny medisin, prosedyrer, retningslinjer for hva man bør eller ikke bør gjøre, eller kombinasjoner av disse.

Forskningen til legen Ignaz Semmelweis (1818–1865), som virket i Østerrike-Ungarn, kan sees som et eksempel på dette. Semmelweis var bekymret for den store andelen av nybakte mødre som døde av barsel-feber på en bestemt fødeavdeling ved det sykehuset hvor han arbeidet. På denne avdelingen var det medisinerstudenter som hjalp de fødende kvinnene. Ved det samme sykehuset var det også en annen fødeavdeling, som ble betjent av jordmødre, og hvor dødeligheten var langt lavere. Hypotesen til Semmelweis var at barsel-feber skyldtes et stoff som medisinerstudentene uvitende overførte fra obduksjonssalen til fødeavdelingen. Semmelweis antok at vask med klorkalkopløsning ville være tilstrekkelig til å fjerne et eventuelt smittestoff som medisinerstudentene fikk på hendene ved obduksjon. På grunnlag av denne antagelsen predikerte Semmelweis at hvis barsel-feber skyldtes et smittestoff fra obduksjonssalen, så vil barselkvinnene ikke bli syke dersom fødselshjelperne på forhånd vasker hendene med klorkalkopløsning. For å teste prediksjonen påla Semmelweis studentene å vaske hendene med klorkalkopløsning før de gikk inn på fødeavdelingen. Etter dette sank dødeligheten blant barselkvinnene på denne avdelingen fra over 12 % til drøyt 2 %, som var sammenlignbart med tallet for den andre fødeavdelingen. Prediksjonen viste seg altså å slå til.

Semmelweis sin forskning har helt klart en forklaringsvinkling i og med at hypotesen representerer ny kunnskap om virkeligheten som den er. Forskningen til Semmelweis er også teknologiforskning, da den nye rutinen eller prosedyren for vask er et artefakt oppfunnet som en del av prosjektet. Det spesielle med Semmelweis sin forskning er at artefaktet er forholdsvis enkelt og lett å fatte i forhold til hva som ofte er tilfelle innen dagens medisinske forskning. Et annet interessant fenomen med Semmelweis sin oppdagelse er at artefaktet har to roller. For det første

gir det Semmelweis en løsning på hans praktiske problem. For det andre brukes det ved testing av forklaringshypotesen.

Kapittel 4

Problemanalyse

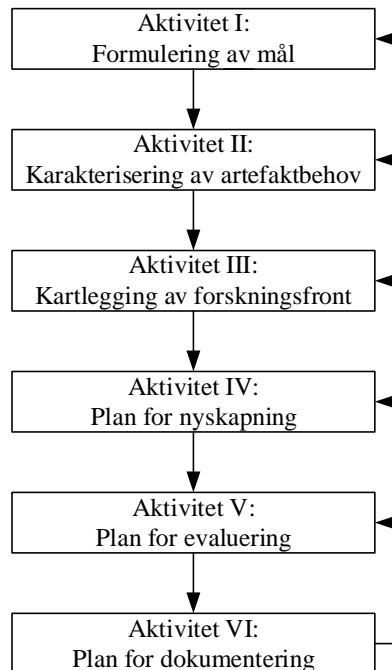
Skal vi løse et problem, må vi forstå hva problemet består i. En problemanalyse skal klargjøre og presisere problemet. Det innebærer i vårt tilfelle å karakterisere og avgrense (det potensielle) artefaktbehovet som skal tilfredsstilles. Å famle i blinde er ikke effektivt. En problemanalyse skal resultere i en plan for å komme frem til en løsning. Det innebærer for oss å bestemme en fremgangsmåte for å lage et artefakt som tilfredsstillende artefaktbehovet.

En innledende problemanalyse vil øke mulighetene for at et forskningsprosjekt lykkes. Det gjelder teknologiforskning, og det gjelder forskning generelt. I dette og det påfølgende kapitlet skal vi se nærmere på hva en problemanalyse innen teknologiforskning kan innebære.

Figur 4.1 gir en oversikt over problemanalysens ulike bestanddeler. Figuren skiller mellom seks aktiviteter. Disse seks aktivitetene representerer en dekomponering av fase 1 i figur 3.1. Aktivitet I har til oppgave å klargjøre forskningens mål. Hvilken effekt forskningen eller forskningsprosjektet skal ha på lang sikt (utover prosjektets levetid), og hva vi håper å levere i form av nye artefakter innen forskningen eller forskningsprosjektet avsluttes.

Aktivitet II representerer selve kjernen i problemanalysen, nemlig karakterisering av artefaktbehov. Et teknologivitenenskapelig forskningsprosjekt dreier seg om å tilfredsstillende et eller flere artefaktbehov. Skal vi lykkes, trenger vi en god forståelse av hva dette behovet består i, og den forståelsen må dokumenteres. Aktivitet III fokuserer på kartlegging av forskningsfronten. Det inkluderer å skaffe seg oversikt over det som finnes av relevant teknologi og kunnskap innen området, samt å klargjøre på hvilken måte vi kan bruke eller utnytte denne.

De to neste aktivitetene tar for seg det forskningsmetodiske. Aktivitet IV fokuserer på planlegging av den kreative eller nyskapende fasen. Med andre ord, hvordan vi skal gå frem for å skape, lage eller finne opp ny teknologi for å tilfredsstillende artefaktbehovet. Aktivitet V er dedikert til planlegging av evalueringsfasen – hvordan evalueringen av den nye teknologien skal gjennomføres. Det vil si, gitt den økonomiske rammen, hvordan på best mulig måte sjekke og underbygge i hvilken grad artefaktbehovet er tilfredsstillende. Skal forskningen være etterprøvbare, må den doku-



Figur 4.1 Problemanalysens bestanddeler.

menteres på en systematisk måte. Det krever også planlegging, og den utføres i aktivitet VI.

Figur 4.1 presenterer problemanalysen som en sekvens av seks aktiviteter. I praksis vil vi ofte gå frem og tilbake mellom aktivitetene. Det illustrerer figuren ved hjelp av tilbakekoplingsløfene. For eksempel er det ikke uvanlig å gå tilbake og justere forskningens mål etter å ha karakterisert artefaktbehovet. I dette kapitlet tar vi for oss aktivitetene I–III, mens aktivitetene IV–VI behandles i kapittel 5.

4.1 Formulering av mål

Et mål er alltid knyttet til en spesifikk interessent. Interessenten kan for eksempel være et individ eller en organisasjon.

Definisjon 4.1 En *interessent* er en medeier, en som deltar i, eller har interesser i, et foretagende [86].

Ulike interessenter har ulike mål. Slik er det innen samfunnet generelt, og slik er det også innen forskning. Ofte er teknologiforskning finansiert som et spleiselag mel-

lom bedrifter eller virksomheter og det offentlige, for eksempel et departement. Et vanlig mål for en bedrift er å tjene penger, mens det offentlige kanskje ønsker å styrke kompetansen innenfor et bestemt fagfelt eller bidra til å løse et samfunnsmessig problem. Forskerne som er involvert i prosjektet, er også interessenter, og kan ha ulike mål. En av forskerne håper muligens å ta en doktorgrad basert på resultater fra prosjektet, mens en annen kan være opptatt av å bidra til menneskehetens beste ved å etablere nyttig teknologi.

Begrepene mål og målsetting er mye brukt og ikke spesifikke for forskning. De anvendes dessuten om hverandre. Følgende definisjon er i så måte typisk: «mål eller målsetting er en klart formulert tanke, ide eller intensjon om en ønsket fremtidig tilstand eller slutt punkt et individ eller organisasjon planlegger å oppnå» [102]. Det er vanlig å skille mellom resultatmål og effektmål.

Definisjon 4.2 Et *resultatmål* beskriver hva et prosjekt eller tiltak skal oppnå, og er knyttet til prosjektets resultater og leveranser. Et *effektmål* beskriver hvorfor prosjektet er etablert, og det beskriver ofte en ønsket fremtidig situasjon som skal oppnås ved å gjennomføre prosjektet [103].

I en del sammenhenger tolkes mål i betydning resultatmål og målsetting i betydning effektmål eller formål. I denne boka brukes imidlertid kun begrepet mål, og vi skiller mellom resultat- og effektmål.

Eksempel 4.1 (Effekt- og resultatmål for et romfartsprosjekt). Et forskningsprosjekt for å plassere en satellitt i bane rundt Jupiter kan ha følgende effektmål:

- Forbedre forståelsen av solsystemets opprinnelse.
- Øke kunnskapen om Jupiter og dens innvirkning på de andre planetene i solsystemet.

Mulige resultatmål er derimot:

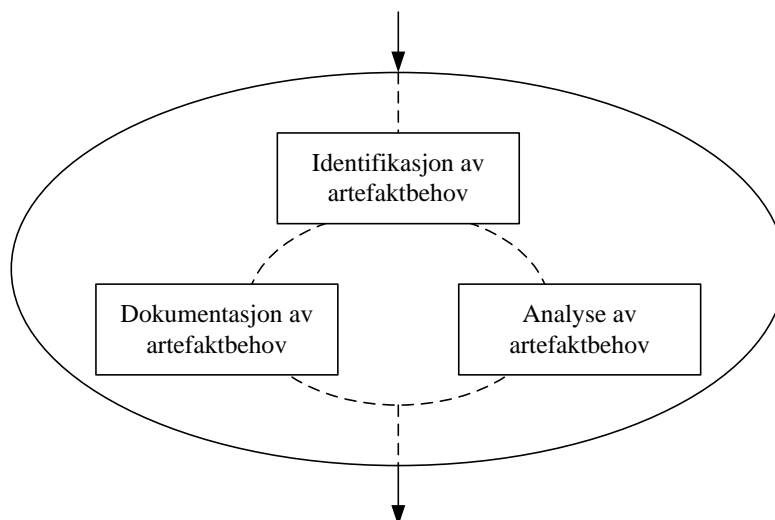
- Anbringe en satellitt i rett bane.
- Lykkes i få alle instrumenter til å virke i henhold til sin spesifikasjon.
- Gjennomføre prosjektet innenfor den budsjetterte rammen.

Om resultatmålene nås, er i stor grad avklart når prosjektet termineres. Satellitten vil samle informasjon i mange år etter at vårt spesielle prosjekt avsluttes. Det er uvisst om effektmålene oppfylles, siden det avhenger av at den fremtidige innsamlingen av informasjon og påfølgende analyse faktisk gir ny kunnskap.

4.2 Karakterisering av artefaktbehov

Aktivitet II har til oppgave å karakterisere artefaktbehovet som den nye teknologien skal tilfredsstillere. I en problemanalyse er vi opptatt av å etablere en overordna forståelse av artefaktbehovet. Det er ikke snakk om en kravspesifikasjon i vanlig

forstand. Utarbeidelse av kravspesifikasjon kan godt inngå som et element i et teknologivitenenskapelig forskningsprosjekt, men, som beskrevet i seksjon 5.1.2, da som en del av nyskappingsfasen.



Figur 4.2 Karakterisering av artefaktbehov.

Som figur 4.2 illustrerer, kan behovskarakteriseringen dekomponeres i tre underaktiviteter, nemlig identifikasjon, analyse og dokumentasjon av artefaktbehov. Disse underaktivitetene er i stor grad parallelle, men i det følgende adressert hver for seg.

4.2.1 Identifikasjon av artefaktbehov

Skal vi lykkes med noe, uansett hva det er snakk om, er det nyttig å vite hva det vil si å lykkes med dette noe. Teknologiforskning dreier seg om å tilfredsstille et eller flere artefaktbehov. Har vi en god forståelse av hva disse behovene består i, har vi også en god forståelse av hva det vil si å lykkes.

Ulike interessenter har ulike behov. Når behov skal identifiseres, er det lurt først å klargjøre hvilke interessenter som er relevante.

Eksempel 4.2 (Interessenter for en tidsmaskin). Å reise i tid innebærer å forflytte seg til en annen virkelighet, enten i fortiden eller i fremtiden. Det siste vet vi er mulig. Utsettes vi for forsterket gravitasjon eller økt hastighet, vil tiden gå saktere relativt til andre som ikke utsettes for dette. Da Sergej K. Krikalev (1958) i 2005 avsluttet sin karriere som kosmonaut, hadde han tilbrakt til sammen 2 år, 10 uker, 2 dager og 22 timer i rommet [26]. På grunn av tidseffektene relatert til gravitasjon og hastighet

var Krikalev ved landing 0,02 sekunder yngre enn han hadde vært hvis han hadde levd et vanlig liv på jordoverflaten. Med andre ord, han hadde reist 0,02 sekunder inn i fremtiden. I hvilken grad det er mulig å reise tilbake i tid, er omstridt [35].

Tidsmaskiner er velkjente fra populærlitteraturen. De fleste tillater reiser både frem og tilbake i tid, slik at den tidsreisende kan returnere til sin egen tid. La oss anta at slike reiser er fysisk mulig, og at vi har fått i oppdrag å bygge en tidsmaskin. Den skal kunne forflytte et menneske til en annen tid og bringe det tilbake igjen.

Hvilke interesser må vi i så fall forholde oss til? Vel, den tidsreisende er helt klart en interessent. At tidsreisen er trygg, er viktig for denne. For det andre, i den grad maskinen opereres fra den virkeligheten som er reisens utgangspunkt, må vi ta hensyn til operatørens behov. Brukervennlighet og minimal helserisiko er trolig viktige aspekter for en operatør. For det tredje, siden endringer i fortiden kan påvirke nåtiden, er menneskeheten representert ved myndighetene en part i saken. At den tidsreisende kun kan observere og ikke endre nåtiden, er en naturlig forventning. For det fjerde er det kanskje en investor som skal tjene penger på dette ved for eksempel å tilby tidsreiser mot betaling. Investoren er typisk opptatt av å holde kostnadene nede slik at tilstrekkelig mange har råd til å reise.

En tidsmaskin ville vært noe helt nytt, men teknologiforskning er ikke alltid like spennstig. Som regel er artefaktet som skal lages, ment å erstatte en eller flere eksisterende teknologier, eller i det minste forbedre visse prosesser eller prosedyrer som allerede er i bruk. I så fall er det å studere hvordan disse eksisterende løsningene fungerer, en mye brukt strategi ved behovsidentifikasjon.

Digitalisering er i så måte et godt eksempel. Digitaliseringsprosjekter dreier seg om å forbedre, støtte eller erstatte noe som allerede eksisterer ved hjelp av digitale løsninger, og i det følgende skal vi se nærmere på et slikt.

Eksempel 4.3 (Digitalisering innen offshore). I forbindelse med vedlikeholdsprosjekter på offshoreinstallasjoner er det vanlig å innkvartere personell på flytende hoteller – såkalte floteller. En mobil bro benyttes av personell for å gå frem og tilbake mellom flotell og installasjon. Når været er dårlig eller spesielle situasjoner inntreffer, løftes broen vekk for å unngå skade på materiell eller at mennesker utsettes for fare. Om broen bør løftes vekk eller ikke, kan være vanskelig å avgjøre, da det er mange faktorer å ta hensyn til. Det er naturlig nok også økonomiske konsekvenser forbundet med dette.

Beslutningen om broen skal løftes vekk eller ikke, tas i dag typisk av menneskelige operatører, og slik vil det nok fortsatt være de nærmeste årene. Ikke desto mindre kan operatøren nyte godt av beslutningsstøtte i form av et dataverktøy. Anta vi har fått i oppdrag å lage et slikt. Interesser er i dette tilfellet brukere av broen og operatører, men også representanter for flotellet og/eller installasjonen. I tillegg er det trolig en programvareleverandør som ønsker at verktøyet skal kunne anvendes bredt innenfor flere sektorer for å maksimere inntektspotensialet. For å identifisere og forstå artefaktbehovet vil en studietur til en installasjon med pågående vedlikeholdsprosess og personell innkvartert på flotell være nyttig. Intervjuer av operatører og personell er også relevant, ikke minst for å identifisere hvilke faktorer som er

avgjørende for beslutningen om broen bør løftes vekk, samt vektingen mellom disse faktorene.

I noen prosjekter er en studietur som beskrevet over, for omfattende for problemanalysen. Den kan da i stedet integreres i planen for fase II. Målet kan i så fall være å detaljere det overordna artefaktbehovet dokumentert i aktivitet II i fase I, i form av konkrete krav.

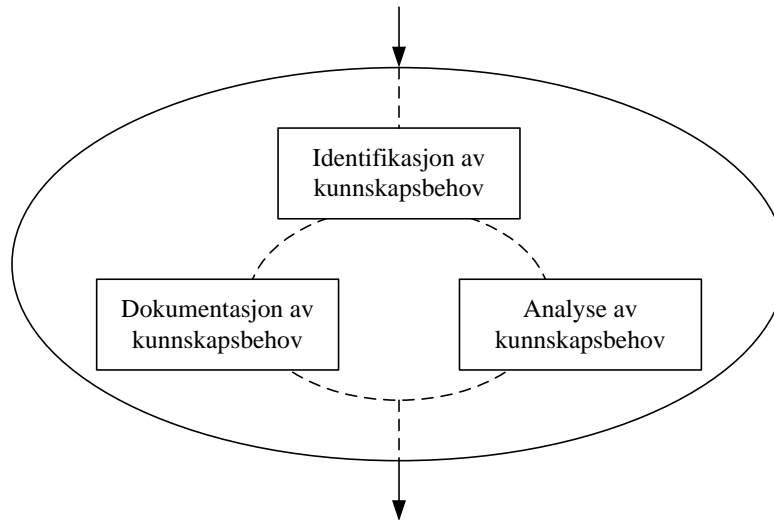
4.2.2 Analyse av artefaktbehov

Etter hvert som behovsidentifikasjonen skrider frem, kan det være nyttig, eller sågar nødvendig, å rydde opp i, strukturere og avklare relasjonen mellom identifiserte behov. Denne prosessen kalles behovsanalyse. Noen ganger vil man oppdage at det ikke er snakk om kun ett artefakt, men flere. Andre ganger, hvor det alt i utgangspunktet dreide seg om flere artefakter, vil man erfare at behovene for forskjellige artefakter er blandet sammen. Min erfaring er at i den grad det er snakk om flere artefakter, bør de holdes mest mulig separat, både når behov identifiseres, og når det skal forskes videre. Det kan også være nyttig å bryte ned store artefakter i underartefakter som håndteres hver for seg, i den grad det er naturlig.

Behov har en lei tendens til å motsi hverandre, helt eller delvis. Det som er nyttig for en interessent, kan være problematisk for en annen. Behov kan også være uforenlige fordi interessenter vil ha i både pose og sekk. Behov for høy sikkerhet kan for eksempel gjøre det vanskelig å innfri ønsket om brukervennlighet.

Innen teknologiforskning er det artefaktet som står i sentrum, mens forklaringsforskning typisk bidrar med kunnskap av betydning for å lykkes med artefaktet. Innebærer prosjektet både teknologiforskning og forklaringsforskning, og det er nesten mer regelen enn unntaket, bør de behandles hver for seg, men selvsagt uten at helheten glemmes. Mens man i teknologiforskning er opptatt av å tilfredsstille et artefaktbehov, dreier forklaringsforskning seg om å møte et behov for kunnskap. Vi ser i figur 4.3 at fremgangsmåten på et overordna nivå i stor grad blir den samme.

Nedbrytningen av et prosjekt i underprosjekter eller oppgaver som indikert over, forenkler behovskarakteriseringen så vel som planleggingen av det forskningsmetodiske. Det kan imidlertid være vanskelig å vite når man skal stoppe, det vil si å bestemme hvilket detaljeringsnivå som er best egnet. Her er erfaring viktig, og det er vanskelig å gi generelle retningslinjer. Er man uerfaren, kan følgende tommelfingerregel være til hjelp: Ikke bryt problemet ned i mindre biter enn at hver bit kan presenteres som en selvstendig vitenskapelig rapport med problembeskrivelse, evaluering og/eller argumentasjon som står på egne ben.



Figur 4.3 Behovskarakteriseringens bestanddeler innen forklaringsforskning.

4.2.3 Dokumentasjon av artefaktbehov

Samarbeider man med andre, er skriftlig dokumentasjon alltid viktig. Men selv om det er snakk om et enmannsprosjekt, og artefaktbehovet virker klart, bør behovet likevel dokumenteres skriftlig, enten på papir eller elektronisk. For det første er det fort gjort å glemme det man en gang mente å forstå. For det andre er det ikke sikkert at alt er like klart når det skal uttrykkes som noe mer enn en tanke i hodet. En slik beskrivelse av artefaktbehovet kan forfattes på forskjellige måter. Så lenge den er riktig, tilstrekkelig presis og lett å forstå for relevante interessenter, er uttrykksformen egentlig uvesentlig. Å lage en beskrivelse av artefaktbehovet som innehar alle disse kvalitetene, er imidlertid ikke alltid så lett.

Noen foretrekker å uttrykke artefaktbehovet i form av en mengde suksesskriterier.

Definisjon 4.3 Et *suksesskriterium* karakteriserer en test eller betingelse for om man har lyktes med et gitt foretagende.

Når man skal formulere suksesskriterier i et teknologivitenskapelig forskningsprosjekt, er det gjerne snakk om å beskrive teknologileveransene – det nye eller de nye artefaktene som forskningen skal resultere i. Man kan tenke på suksesskriterier som overordna, men rimelig presise krav. En tommelfingerregel er at suksesskriteriene ikke bør være mer detaljert enn at de kan listes opp i innledningen til en rapport som presenterer resultatene fra forskningen.

Eksempel 4.4 (Suksesskriterier for en tidsmaskin). Et opplagt suksesskriterium med hensyn til tidsmaskinen fra eksempel 4.2 er at teknologien faktisk fungerer. Det kan uttrykkes som følger:

Tidsmaskinen kan forflytte et menneske til en annen tid og tilbake igjen til den virkeligheten som var utgangspunktet.

Utvikler vi ny teknologi, er vi vanligvis opptatt av at den skal være trygg å bruke. Det kan være en stor utfordring for noe så banebrytende som en tidsmaskin, og derfor er følgende et viktig suksesskriterium:

Tidsmaskinen er trygg i den betydning at den hverken skader den tidsreisende, operatørene eller de omliggende miljøene.

De fleste av oss ville blitt svært bekymra hvis en tidsreise potensielt kunne påvirke den virkeligheten vi lever i, ved at vår egen historie endres. Man kan jo tenke seg skrekkszenarioer hvor den tidsreisende dreper en av våre forfedre, eller tar kontakt med en krigførende part og hjelper denne til å vinne en krig som denne parten egentlig tapte. Det synes derfor naturlig å kreve:

Bruk av tidsmaskinen vil ikke påvirke tidsepoken som besøkes.

Om enn lite vektlagt i fremtidslitteraturen er det helt klart store personvernutfordringer forbundet med tidsreiser. Hva hvis noen reiser tilbake for å spionere på oss i fortiden? Nå er det for de fleste av oss ikke nødvendigvis så mye spennende å finne, men det betyr ikke at vi ønsker å gi andre innsyn. Det synes derfor naturlig å vektlegge personvernet. Allmennheten representert ved myndighetene vil trolig påse at personvernet hensyntas. For eksempel er følgende et mulig suksesskriterium:

Tidsmaskinen er konfigurert slik at tidsreiser som bryter med gjeldende prinsipper for personvern, ikke er mulig.

Det er naturlig nok langt flere forventninger og krav til en tidsmaskin enn de som er uttrykt i de fire kriteriene over, men på et overordna nivå, som en del av problemanalysen, kan det være tilstrekkelig. Men da bør man planlegge en mer detaljert innhenting av krav på et senere tidspunkt i prosjektet.

Som nevnt er suksesskriterier bare en av flere uttrykksmåter. Synes man det er vanskelig å få til en god beskrivelse, kan følgende fremgangsmåte forsøkes.

Fremgangsmåte 4.1 *Beskrivelse av artefaktbehov:*

1. Formuler en enkelt setning som på et overordna nivå beskriver hva det nye artefaktet skal være bra på.
2. Denne setningen vil typisk inneholde ord og formuleringer som er uklare eller vage. Det kan være termer eller begreper som ikke er tilstrekkelig presise, eller som er brukt på en inkonsekvent måte. Det kan også være snakk om målestokker eller skalaer som er diffuse eller tvetydige. Manglende grenseverdier eller parametere er også typiske svakheter. For hver slik uklarhet legg til en presisering på formen:

Med [...] menes [...].

Eksempel 4.5 (Fremgangsmåte anvendt på verktøy for beslutningsstøtte). Vi tar utgangspunkt i eksempel 4.3. Verktøyet som skal lages, kan for eksempel beskrives med følgende setning:

Verktøyet skal i sanntid, gitt tilgang til relevante data, gi nyttige og brukervennlige råd med hensyn til om gangbro bør løftes vekk eller ikke.

Setningen gir en ganske god beskrivelse av teknologien som skal lages, men er rund i formen i den betydning at den gjør bruk av begreper som kan tolkes og forfines i ulike retninger. Det er et vanlig fenomen når noe komplisert skal beskrives på en kortfattet måte. Det er derfor naturlig å forklare disse litt upresise formuleringene nærmere. Hva vil det for eksempel si at noe er i sanntid? Vi vet jo at enhver beregning tar tid. I og med at mottakeren av informasjon i dette tilfellet er et menneske, og ikke et annet dataprogram eller maskin, er sannsynligvis følgende tilstrekkelig:

Med *sanntid* menes «at operatøren ikke føler at responstiden forsinker beslutningsprosessen».

Ethvert dataprogram avhenger av kvaliteten på de dataene det føres med. Med andre ord:

Med *tilgang til relevante data* menes «at verktøyet faktisk har tilgang til de dataene, som bølgehøyde, strøm og vindstyrke, det trenger for å kunne gi adekvate råd».

Mer konkret, hvilke inputdata det egentlig er snakk om, må spesifiseres nærmere på et eller annet tidspunkt, men det er ikke nødvendigvis noe som gjøres som en del av problemanalysen. Skal rådene være nyttige, må de være riktige. Ikke minst er det viktig at rådene ikke forleder operatørene til å gjøre feil de ellers ikke ville gjort.

Med *nyttige råd* menes «at verktøyet gir korrekte anbefalinger som potensielt fører til at operatøren tar bedre beslutninger».

Med *brukervennlige råd* menes «at verktøyet er lett å bruke, og at anbefalingene presenteres på en lettfattelig måte».

Presiseringene inneholder også begreper eller formuleringer hvis betydninger er tvedydige eller åpne for tolkning. Hva vil det for eksempel si at noe er lettforståelig? I den grad det er ønskelig, kan presiseringene gjøres klarere med nye presiseringer. Men igjen er det viktig å huske at under problemanalysen er en overordna beskrivelse tilstrekkelig.

Generelt, skal det lages flere artefakter, bør artefaktbehovet beskrives separat for hvert artefakt uansett hvilken beskrivelsesform som benyttes. En god behovsbeskrivelse vil normalt gjøre forskningen mer effektiv. Å skulle tilfredsstille et behov man egentlig ikke vet hva er, er litt som å spille fotball uten å være sikker på hvor målet står. Det er alt annet enn enkelt.

En god behovsbeskrivelse vil også forenkle rapportering og artikkelskriving. Dersom diskusjonskapitlet er tynt, er det ofte fordi artefaktbehovet er dårlig karakterisert eller upresist. Dette kommer vi tilbake til i kapittel 13.

4.3 Kartlegging av forskningsfront

Når vi som forskere går løs på et nytt problem, er det viktig å identifisere hvilke aspekter av problemet som allerede er løst, hvilke deler av problemet vi selv skal fokusere på, og hvilke deler av problemet vi overlater til andre eller fremtidige prosjekter. Har vi ikke tilstrekkelig oversikt over forskningsfronten innenfor det området forskningen adresserer, må det bøtes på. Med tanke på tidsforbruk og det faktum at vi har et begrenset budsjett, gjelder det å lese fokusert. Det får vi best til ved at lesingen skjer parallelt med de andre aktivitetene som utgjør problemanalysen. Det er egentlig like mye feil å lese for mye som å lese for lite eller ting som er irrelevante.

I forbindelse med problemanalysen er vi først og fremst ute etter å skaffe oss en overordna oversikt over forskningsfronten. Innen teknologiforskning vil det typisk innebære en evaluering av eksisterende teknologi på et relativt høyt abstraksjonsnivå. En konklusjon fra en slik overordna evaluering kan være at det er nødvendig å planlegge inn en mer detaljert evaluering av et antall nærmere spesifiserte teknologier som en del av planen for fase II.

Retningslinjer og prosedyrer for detaljerte litteraturstudier finnes det mange av. For eksempel gir [30] en oversikt over 14 studietyper med tilhørende metoder. Som for [108] er fokus på helserelatert forskning, men metodikken er generisk. Det samme gjelder [51] og [45], selv om forfatterne fokuserer på IT og informasjonssystemer.

Kapittel 5

Planlegging

I kapittel 4 gikk vi gjennom problemanalysens tre første aktiviteter: formulering av mål, karakterisering av artefaktbehov og kartlegging av forskningsfront (se figur 4.1). Nå skal vi gå gjennom de tre neste aktivitetene, nemlig plan for nyskaping, plan for evaluering og plan for dokumentering.

Teknologivitenskap dreier seg om å skape, komme frem til, etablere eller finne opp artefakter for å tilfredsstille menneskelige behov. Hvordan man går frem for å få dette til, avhenger av hvilke personer og institusjoner som er involvert, hva slags teknologi det er snakk om, tidsramme, budsjett og så videre. På hvilket detaljnivå det er formålstjenlig å planlegge, varierer tilsvarende. Et forskningsprosjekt for å konstruere et fartøy for en bemannet ferd til Mars har et helt annet planleggingsbehov enn et prosjekt som dreier seg om å løse en matematisk ligning algoritmisk i form av et dataprogram. Et romfartøy krever samarbeid i stor målestokk, mens algoritmen, avhengig av hva slags ligning det er snakk om, kan lages av en enkeltperson.

Mange teknologivitenskapelige forskningsprosjekter har underprosjekter som hører inn under forklaringsvitenskap. Selv om artefaktbehovet er karakterisert på et overordna nivå som beskrevet i kapittel 4, kan et underprosjekt for å identifisere kravene til det nye artefaktet i mer detalj være klargjørende. Det kan også være påkrevet med et underprosjekt for å skaffe til veie ytterligere kunnskap om egenskapene til materialer og substanser som vurderes anvendt i det nye artefaktet. Slike underprosjekter bør beskrives og planlegges hver for seg, men ikke uten å ta helheten i betraktning.

Vi skiller mellom tre ulike typer planer. For det første kan det være nyttig med en plan for nyskappingsfasen. Det vil si, hvordan vi skal gå frem for å etablere den nye teknologien. Nyskappingsfasen er den delen av teknologiforskning som drar størst veksler på forskerens eller forskernes kreativitet og iderikdom. For det andre: Når nyskapingen er tilstrekkelig moden, må den evalueres. Igjen er planlegging påkrevet, eller i det minste til hjelp, for å klargjøre hvordan vi skal gå frem for å evaluere om, eller i hvilken grad, nyskapingen tilfredsstillende karakteriserte artefaktbehovet. For det tredje: Skal forskningen være etterprøvbare og repeterbar, må

nyskapingen så vel som evalueringsoppsettet og resultatene fra evalueringen dokumenteres og publiseres på en tilfredsstillende måte, og det krever også planlegging.

I forbindelse med et teknologivitenskapelig forskningsprosjekt kan det også være andre ting å planlegge. Hvordan skal vi for eksempel spre informasjon om det nye artefaktet utover den rent vitenskapelige publiseringen, eller hvordan skal det hele kommersialiseres? Det førstnevnte er egentlig et spørsmål om markedsføring, mens det sistnevnte dreier seg om innovasjon. Begge deler er viktige, men ikke tematikker for denne boka.

5.1 Plan for nyskaping

Behovet for planlegging avhenger altså av hva slags forskningsprosjekt det er snakk om. Det gjelder spesielt for nyskappingsfasen, hvor idegenerering og kreativitet må understøttes, men samtidig også gis tilstrekkelig frihet og spillerom. Det finnes mange bøker som belyser eller tar for seg metoder og teknikker for tenkning, problemløsning og kreativitet. De fleste slike metoder og teknikker er hverken spesifikke for design eller forskning, men kan likevel anvendes av en teknologiforsker. Jeg begrenser meg til det mest grunnleggende, og spesielt hva jeg har dratt nytte av i eget forskningsarbeid.

5.1.1 Idegenerering

For å formulere interessante hypoteser trengs gode ideer, og de igjen forutsetter evne til idegenerering. Vi mennesker har ulike talenter, og ingen er like gode på alt. Noen løper 100 meter vesentlig raskere enn andre. Ikke desto mindre, selv om de fleste av oss er sjanseløse i kappløp med en topp sprinter, vil vi normalt bli raskere ved å trene sprint og innføre et dertil egnet kosthold. Slik er det også med idegenerering. Noen er i utgangspunktet mer kreative enn andre, men de fleste kan bli mer kreative ved å øve og benytte en dertil egnet fremgangsmåte. Det krever imidlertid innsats og vilje til å prøve ut nye ting.

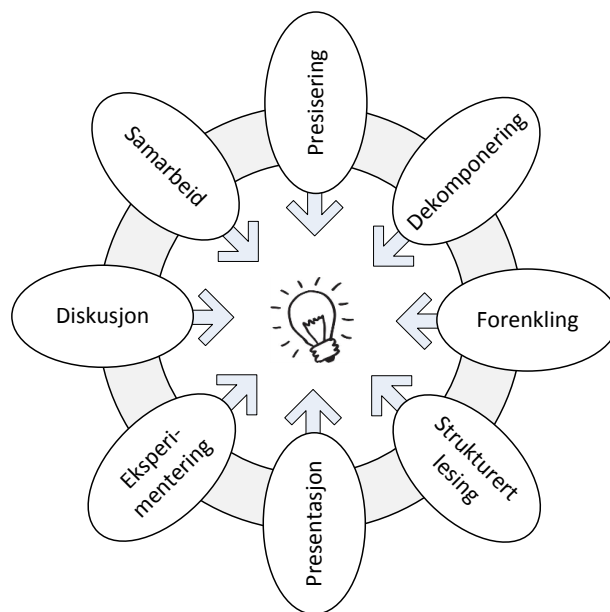
Det å stå overfor et vitenskapelig problem som skal løses, minner litt om å tegne et kart over et tåkelagt terreng hvor terrenget er en lovmessighet eller et artefakt som ingen tidligere har funnet, observert eller forstått fullt og helt. Av og til tror vi at vi skimter noe blant tåkedottene, men dette noe forsvinner før vi vet ordet av det. Andre ganger ser vi litt mer, men vet ikke helt hva. Andre ganger igjen synes vi å kjenne igjen noe vi har sett før. Det kan være noe som minner om et paradigme vi alt har erfaringer med, men er usikre på om vi har sett rett, eller om det bare er tåka som gir et slikt inntrykk. En ide kommer ofte som et glimt i tåka.

Et berømt eksempel i så måte er hvordan Wilbur Wright ved å leke med boksen til en sykkelslange, mens han pratet med kunden han nettopp hadde solgt den til,

kom på ideen om å kontrollere et fly i lufta ved å vri rammeverket som understøttet flyets vingepar [11].

I en forskningssituasjon dukker det av og til opp slike glimt, og de gjelder det å ta tak i. Et enkelt glimt er ikke nødvendigvis verdifullt. De fleste er faktisk ikke nyttige i seg selv, men ved å ta for seg slike glimt i detalj og skrive dem ned eller illustrere dem, kan vi trigge nye glimt, som igjen stimulerer videre idegenerering.

5.1.2 Grunnleggende teknikker for idegenerering



Figur 5.1 Ideskaping.

Det å skape, etablere eller finne opp forutsetter en ide. Det å få gode ideer kan ikke planlegges, men vi kan planlegge aktiviteter som legger til rette for å få ideer. Jeg skiller mellom åtte grunnleggende teknikker eller retninger for idegenerering (se figur 5.1). I det følgende beskrives hver enkelt av disse nærmere. Selv om de her presenteres hver for seg, vil de i praksis nesten alltid kombineres.

Idegenerering ved presisering

Hva hvis vi overhodet ikke har ideer? Med andre ord, hvis vi står overfor et problem som vi helst skal løse og føler oss helt blanke: Hva gjør vi da? De fleste er nok kjent med situasjonen. Først kan du prøve å presisere problemet i større detalj og ikke kun som tanker i hodet, men i form av skrevne ord og gjerne illustrert med tegninger og figurer. Ofte er nemlig et problem vanskelig å løse fordi det er uklart formulert eller dårlig forstått.

Presisering kan også være til stor hjelp for å videreutvikle en ide. Presisering har ofte en klargjørende så vel som raffinerende effekt på ideen. Ikke minst kan vi oppdage svakheter eller nye innfallsvinkler som vi overser når ideen eksisterer kun som en tanke i hodet. Nedskrevne tanker vil gjerne formere seg og gi opphav til nye ideer. De trenger ikke oppstå umiddelbart, selv om mange gjør det. Kanskje dukker de opp først om to uker, eller når tennene pusses neste morgen.

Hvis dette ikke virker og vi ikke ser noen vei i vellinga, kan det være lurt å snu problemet på hodet og i stedet prøve å argumentere for at problemet ikke lar seg løse under de forutsetningene som er gitt. Det er også en form for presisering. I noen tilfeller kan det være at problemet er uløselig gitt forutsetningene. Som regel er det imidlertid en vei videre, og ofte kan det dukke opp ideer som leder oss i rett retning hvis vi prøver å argumentere for at noe slikt ikke finnes.

En ting er å presisere et problem for seg selv, noe annet er å sørge for presisering i et prosjekt som involverer andre. En mulighet er å planlegge en behovsanalyse samt utarbeidelse av en kravspesifikasjon. I kapittel 4 fremheves viktigheten av å gjøre en overordna behovskarakterisering innledningsvis i et teknologivitenskapelig forskningsprosjekt. Den er strengt tatt påkrevet for å kunne planlegge prosjektet på en tilfredsstillende måte. En behovsanalyse som en del av nyskappingsfasen vil ta utgangspunkt i denne overordna behovskarakteriseringen og detaljere den videre.

En beslektet aktivitet for understøtte presisering er gapanalyse. En gapanalyse går ut på å identifisere avviket mellom det man har, eller det som er mulig med eksisterende teknologi, og det man ønsker å få til. Gapanalyse er nyttig når deler av behovet dekkes av allerede eksisterende teknologi, eller når man i utgangspunktet har et system, prosess eller teknologi som man ønsker å videreutvikle for å tilfredsstille nye krav.

Idegenerering ved dekomponering

Divide et impera (splitt og hersk) er ikke bare et prinsipp for kynisk ledelse, det er også en strategi for problemløsning. Problemer kan være vanskelige å løse fordi de er sammensatt. De kan bestå av flere mindre problemer som enklest løses hver for seg, eller de kan være lagdelt på en slik måte at de forenkles hvis vi tar for oss de ulike lagene i rett rekkefølge, eller på rett måte.

Mange teknologivitenskapelige forskningsprosjekter kan dekomponeres ved å separere ut elementer som faller inn under forklaringsvitenskap. Er artefaktbeho-

vet en ny teknologi for å hjelpe eldre med opptrening etter lårbeinsbrudd, er det viktig å sette seg inn i den aktuelle brukergruppas situasjon og behov. En slik undersøkelse kan separeres ut i et eget underprosjekt. Selve nyskapingen, teknologien for opptrening, består kanskje av både en maskinvaredel og en programvaredel. Disse delene kan muligens designes hver for seg i egne underprosjekter. Slik kan vi fortsette. Dekomponerer vi på en god måte, ender vi opp med et mer ryddig og strukturert prosjekt, og da blir det som regel enklere å finne løsninger.

I en plan kan vi ta høyde for dette ved å splitte opp nyskappingsfasen i et antall trinn eller underprosjekter som hver fokuserer på et nærmere spesifisert problemaspekt eller underproblem.

Idegenerering ved forenkling

Skal vi løse et komplisert problem, kan det lønne seg å først prøve og løse et eller flere forenkla versjoner eller spesialtilfeller av problemet. Vi kan forenkla ved å legge til antagelser, ved å se bort ifra visse aspekter eller legge inn restriksjoner. Det vi på en slik måte lærer, kan gjøre oss mer rustet for etterpå å løse det generelle problemet.

Anta at vi prøver å finne opp en smørefri langrennsski som gir feste ved fraspark og glir like godt som stakeski utfor. Alle med erfaring i bruk av klassiske langrennsski vet at feste avhenger av snøtype og temperatur. Det er lettere å få feste når det enten er kaldt eller svært mildt, enn ved nullføre. Nysnø gir ofte godt feste, mens gammel sukknø er problematisk. En mulig forenkling i et slikt prosjekt er å begrense seg til en bestemt temperatur og snøtype. Finner vi en løsning for et slikt spesialtilfelle, kan vi deretter undersøke i hvilken grad den også virker under andre betingelser eller kan generaliseres. Omvendt, hvis vi ikke greier å løse spesialtilfellet, er det en indikasjon på at oppgaven er for vanskelig.

Denne typen forenkling kan vi ta tak i under planleggingsfasen ved for eksempel å definere en trinnvis prosess hvor hvert nytt trinn øker kompleksiteten inntil det generelle tilfellet nås.

Idegenerering ved strukturert lesing

Et problem har ofte beslektede problemer hvis løsninger er publiserte og tilgjengelige. En mulig idegenereringsstrategi er å sette seg inn i disse, og i tillegg prøve å karakterisere hvorfor ens eget spesielle problem ikke lar seg løse på en tilsvarende måte.

Innen teknologivitenenskap er evaluering av eksisterende teknologi en kilde til inspirasjon og kreativitet. Som beskrevet i kapittel 4 innbefatter behovskarakteriseringen en overordna evaluering av relevant teknologi. Mens denne innledende evalueringen er på et høyt abstraksjonsnivå og favner bredt, er evalueringer i nyskappings-

fasen typisk spesialiserte og fokuserer kanskje kun på de mest lovende teknologiene identifisert tidligere i prosjektet.

Hvor formelt vi legger opp evalueringsprosessen, og hvor detaljert dette planlegges, er situasjonsavhengig. En strukturert evaluering av potensielle løsninger basert på et antall nærmere spesifiserte evalueringskriterier gjør det enklere senere å argumentere for hvorfor vi valgte en av disse, eller fant det nødvendig å komme opp med en helt ny løsning. Slike evalueringer er imidlertid ressurskrevende.

Et problem består typisk av mange underproblemer, og det å gjøre en detaljert litteraturstudie hver gang man står fast, er i praksis umulig. Det gjelder å lese effektivt, og det er ikke nødvendigvis det samme som å lese en artikkel, rapport eller bok på den måten forfatterne hadde i tankene da de skrev den. Det kan ofte være lurt å starte med selve hovedresultatet og så lese seg forover inntil vi har nødvendig bakgrunn for å avgjøre om dette egner seg for vårt eget arbeid eller ikke.

Selv om lesing er viktig, er det fort gjort å lese feil. Lesingen må styres av problemet som skal løses. Innenfor et fagområde finnes det store mengder litteratur, og velger vi ikke stoffet med omhu, kan vi risikere å lese svært mye uten å lese det som bringer oss videre.

Idegenerering ved presentasjon

En annen fruktbar fremgangsmåte for idegenerering er presentasjon av problemer og tanker rundt potensielle løsninger for kollegaer eller andre dertil egnede tilhørere. Et mulig resultat fra et slikt foredrag er innspill fra dem vi presenterer for, men det er ofte vel så viktig at vi selv, ved å legge stoffet frem for andre, ser eget arbeid i et nytt lys eller fra et annet perspektiv og derved kommer videre. Det kan også være at vi kommer på nye ting under utarbeidelsen av selve foredraget, og fremførelsen kan ha en tilsvarende effekt uavhengig av hva slags respons vi får fra tilhørerne.

Umiddelbart etter et foredrag arbeider hjernen gjerne på høytrykk. Dette er en svært kreativ fase, og den gjelder det å utnytte. Skriv ned tanker og innfall, eller illustrer dem grafisk. Ofte kan det være ting i selve foredraget, sammenhenger vi ikke helt greide å forklare eller fenomener vi nå plutselig ser på en helt annen måte, som gjør at vi finner nye angrepsvinkler. Det kan også være spørsmål vi fikk, eller bemerkninger som ble gjort underveis.

Foredrag kan organiseres på kort varsel, men for større prosjekter kan det med fordel planlegges inn som aktiviteter i nyskapsfasen, og i prosjektet som helhet.

Idegenerering ved eksperimentering

Eksperimentering innebærer å prøve seg frem, teste ut, simulere eller forsøke ulike alternativer for å se hva de gir av konsekvenser. Når teknologiforskere eksperimenterer, lager de gjerne prototyper for å forbedre sin forståelse av problemer og tekniske utfordringer eller hvordan potensielle løsninger fungerer. Slike prototyper

kan være alt fra pappmodeller til avanserte tekniske installasjoner. Eksperimentering kan også innebære uttesting av ulike materialer eller evaluering av eksisterende teknologi i nye omgivelser.

Å lage utkast er også en form for eksperimentering. Et utkast eller en skisse beskriver en potensiell løsning. En slik skisse er et utmerket medium for idegenerering. Det kan være nyttig å operere med et antall alternative utkast. Utkastene bør forstås som levende dokumenter som endres og presiseres inntil nyskapingen er på plass.

Tankeeksperimenter er alternativer til konvensjonelle eksperimenter når de sistnevnte er umulige eller lite praktiske av fysiske, teknologiske, etiske eller finansielle årsaker. Tankeeksperimenter har blitt brukt så lenge menneskene har bedrevet vitenskap. Lukrets (99 fvt.–55 fvt.) gjorde for eksempel bruk av følgende tankeeksperiment [10] for å vise at universet eller rommet er uendelig:

Hvis rommet er begrenset, kan vi kaste et spyd mot rommets begrensning. Hvis spydet penetrerer begrensningen, er det ingen begrensning. Hvis spydet ikke penetrerer begrensningen, må noe, i form av et kosmisk skall, ha stoppet spydet. Men dette skallet er selv i rommet. Rommet er altså mer enn bare innsiden av skallet. I begge tilfeller kan vi konkludere med at rommet ikke er begrenset.

Einstein gjorde omfattende bruk av tankeeksperimenter, og tankeeksperimenter var helt essensielle ved etableringen av kvantemekanikken. Per Arne Bjørkums (1952) bok *Annerledestenkerne* [7] presenterer mange interessante og inspirerende eksempler. Tankeeksperimenter er like viktige ved idegenerering innen teknologivitenskap. Romheisen [22], som skal transportere personell fra bakken til et fartøy i verdensrommet, er et spennende eksempel på et tankeeksperiment, som etter hvert har vokst til noe mer, og som trolig vil bli realisert i fremtiden.

I planleggingsfasen er det mulig å definere inn ulike eksperimenteringsaktiviteter samt hva slags metodikk og teknologi, som programvare for modellsimulering, hver enkelt aktivitet skal gjøre bruk av. Det inkluderer aktiviteter knyttet til relevante allerede eksisterende tankeeksperimenter og opplegg for å identifisere eller definere nye tankeeksperimenter.

Idegenerering ved diskusjon

Diskusjon kan være så mangt. Vi kan diskutere med likesinnede, vi kan diskutere med kritikere, og vi kan diskutere på tvers av fagfelt. Vi kan også diskutere innad i grupper eller i full offentlighet. Uavhengig av form har saklig og fokusert diskusjon potensial for å bringe oss videre.

Kritikk eller uenighet er ikke nødvendigvis noe negativt. Det er ofte diskusjoner mellom mennesker med ulik bakgrunn eller svært ulike oppfatninger som er de mest fruktbare.

Spontane diskusjoner oppstår hele tiden og er ikke noe som må planlegges. Det finnes imidlertid et antall mer formelle diskusjonsteknikker eller metoder. Det kan

være teknikker for idemyldring med eller uten instruktør eller veileder som vi kan planlegge inn i et forskningsprosjekt etter behov. De kan være nyttige på flere måter – for eksempel fordi prosessene de er basert på, sørger for at alle får sagt sitt og blir tatt hensyn til, eller at alle aspekter ved et problem blir belyst.

Idegenerering ved samarbeid

Samarbeid kan ta mange former. Diskusjon kan forstås som en form for samarbeid, og presentasjon for andre likeså. Men ideer kan oppstå også fra mer generelle former for samarbeid. Ved forskningsinstituttet SINTEF, hvor forfatteren arbeider, er følgende nesten et mantra: «Hvis SINTEF bare visste hva SINTEF egentlig vet». Med det menes at det finnes mye uforløst kunnskap blant forskerne som ikke utnyttes fordi forskerne i en stor forskningsvirksomhet i liten grad har oversikt over hva andre forskere utenfor egen forskningsgruppe kan bidra med, og heller ikke kjenner hverandres problemstillinger.

En mulig planleggingsstrategi er organisering av arbeidsgrupper eller arbeidsmøter, hvor forskere og andre potensielle interessenter utfordres til å angripe relevante problemstillinger. Vinkling og sammensetningen av disse har stor betydning for resultatet.

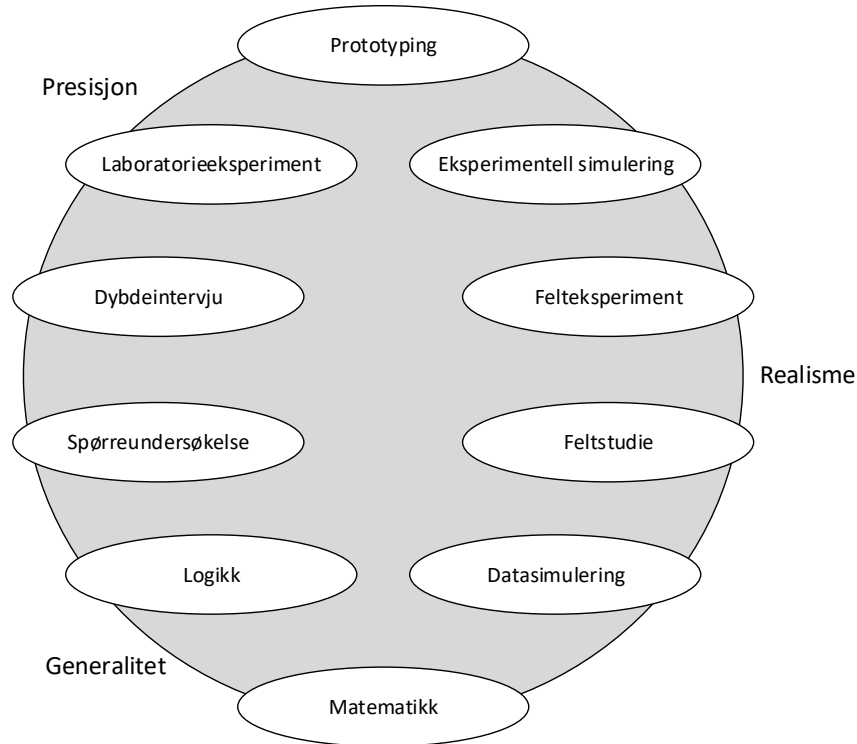
Hvordan å få frem, identifisere, karakterisere, analysere og dele kunnskap innenfor en virksomhet eller organisasjon er kjent som kunnskapsledelse og er et stort fagfelt i seg selv [65], [29].

5.2 Plan for evaluering

For å avgjøre om nyskapningen, det nye artefaktet vi har kommet opp med, tilfredsstillende artefaktbehovet, kreves evaluering. Evaluering kan bety så mangt. I denne boka dreier evaluering seg om å sjekke, teste eller prøve ut empiriske hypoteser for derved å kunne argumentere for eller mot deres riktighet. Begreper som verifisering og falsifisering kan forstås som to av flere mulige former for evaluering. Evalueringsfasen er krevende og forutsetter som regel nøye planlegging. I det følgende gis først en oversikt og klassifisering av evalueringsmetoder. Deretter ser vi nærmere på en del utfordringer forbundet med evaluering som det er lurt å ta stilling til i planleggingsfasen.

Det er verdt å merke seg at metodene vi her i boka refererer til som evalueringsmetoder, er langt mer anvendelige enn denne betegnelsen gir inntrykk av. Innen forklaringsvitenskapene spiller de samme metodene andre roller, og omtales ofte enkelt og greit som forskningsmetoder. Vi er imidlertid opptatt av teknologivitenskap, og i en slik sammenheng brukes de først og fremst i evalueringsfasen.

5.2.1 Klassifisering av evalueringsmetoder



Figur 5.2 Kategorier av evalueringsmetoder.

Som fremhevet av Joseph McGrath (1927–2007) [59] har alle metoder for evaluering innebygde eller iboende svakheter. Vi ønsker en evaluering som maksimerer henholdsvis

- generalitet
- presisjon
- realisme

Men generalitet, presisjon og realisme lar seg ikke maksimere samtidig.

Med hensyn til kategoriene i figur 5.2 (inspirert av [59]) er for eksempel logikk god på generalitet, siden logiske prinsipper er allmenngyldige. Logikk er på den annen side ikke-empirisk og scorer derfor dårlig på realisme. Det samme gjelder matematikk. Spørreundersøkelse egner seg for innsamling av generell kunnskap, men går lite i dybden og er av den grunn mindre bra på realisme. Feltstudier og felteksperimenter er realistiske, men ikke særlig presise fordi det potensielt er mange

lite kontrollerbare faktorer som påvirker resultatet. Laboratorieeksperimenter tillater høy grad av presisjon, men er basert på forenkling og kunstige omgivelser, og er derfor dårlige på realisme. Det samme gjelder i stor grad prototyping og simulering. For å korrigere for de ulike metodenes svakheter er det nødvendig å kombinere metoder på en slik måte at de dekker opp for hverandre.

Definisjon 5.1 gir en kortfattet karakterisering av hver enkelt.

Definisjon 5.1

- *prototyping* – innebærer å bygge en modell av et artefakt;
- *eksperimentell simulering* – et forsøk som simulerer en relevant del av virkeligheten under kontrollerte betingelser;
- *felteksperiment* – et forsøk som utføres i en naturlig omgivelse, men hvor forskeren griper inn og manipulerer visse faktorer;
- *feltstudie* – direkte observasjon av et system, med minst mulig innblanding fra forskeren;
- *datasimulering* – innebærer å simulere et system eller artefakt ved hjelp av et dataprogram;
- *matematikk* – ikke-empirisk undersøkelse av abstrakte strukturer, deres egenskaper og mønstre;
- *logikk* – ikke-empirisk argumentasjon basert på sunne regler for tenkning og argumentasjon;
- *spørreundersøkelse* – innsamling av informasjon fra et bredt og nøye sammensatt utvalg av personer;
- *dybdeintervju* – strukturert innsamling av en (som regel større) mengde informasjon fra relativt få enkeltpersoner;
- *laboratorieeksperiment* – forsøk hvor forskeren har stor grad av kontroll og mulighet til å isolere de variablene som undersøkes.

Jeg regner med at leserne av denne boka har en rimelig god overordna forståelse av hva en spørreundersøkelse og et laboratorieeksperiment er, samt hva matematikk går ut på, mens andre metodekategorier muligens krever litt mer forklaring.

Prototyping er mye brukt innen teknologivitenskap. Når NASA sender kjøretøy til andre himmellegemer, som månen eller Mars, bygger de først prototyper som blir grundig testet ut i ulike miljøer på jorda. Prototyper er ofte forenklinger av det endelige artefaktet. De kan være vesentlig mindre og bygget i helt andre materialer enn den planlagte teknologien.

Også eksperimentell simulering er mye brukt innen teknologivitenskap. En eksperimentell simulering i et bølgelaboratorium kan for eksempel brukes til å teste ut egenskapene til et nytt skrog i ulike typer sjøgang. Eksperimentell simulering er også populært innen menneske–maskin-forskning. Det er ikke uvanlig å bygge kunstige kontrollrom for å studere oppførselen til profesjonelle operatører avhengig av rommets utforming og for ulike scenarier.

En datasimulering skiller seg fra en eksperimentell simulering ved at den utføres av et dataprogram. En eksperimentell simulering gjør ofte bruk av datasimulering. I et kunstig kontrollrom er gjerne prosessene, som skal kontrolleres av de virkelige operatørene, datasimuleringer av virkelige prosesser innenfor for eksempel kjemisk industri eller energiproduksjon.

En feltstudie dreier seg om å observere uten å blande seg inn eller påvirke, for eksempel av hvordan elever i et klasserom bruker datateknologi i skolearbeidet. Hvis forskeren har mulighet til å manipulere hastigheten på datakommunikasjonen, kan feltstudien omgjøres til et felteksperiment med fokus på hvordan elevene endrer oppførsel avhengig av hastigheten på nettet.

Nesten all forskning involverer argumentasjon basert på allmenngyldige regler – den typen argumentasjon som til en viss grad faller inn under begrepet sunn fornuft, og som er kjent som logisk argumentasjon. Det betyr at forskning generelt gjør bruk av eller bygger på logisk argumentasjon selv om denne kun er uttrykt i naturlig språk og ikke i form av formelle regler som logikere vanligvis arbeider med.

Et intervju skiller seg fra en spørreundersøkelse ved at man kun spør et mindre antall personer, men til gjengjeld kan man stille mer detaljerte spørsmål enn man har mulighet til i en spørreundersøkelse. Er intervjuene omfattende, omtales de gjerne som dybdeintervjuer.

Klassifiseringen i figur 5.2 er ikke fullstendig, og kan helt klart kritiseres. Det er for eksempel vanskelig å plassere aksjonsforskning i dette bildet. Det nærmeste man kommer, er nok felteksperiment. Og hva med statistisk analyse samt statistikkbasert kunstig intelligens og maskinlæring? Noen ser på statistikk som en matematisk disiplin, eller som en helt egen disiplin, mens andre betrakter statistikk som en integrert del av andre forskningsmetoder. Et laboratorieeksperiment eller for eksempel en spørreundersøkelse vil ofte innbefatte statistisk analyse.

5.2.2 Metodetriangulering

Begrepet triangulering har sin opprinnelse innen landmåling og posisjonering. For å finne ut hvor en befinner seg i et flatt landskap, er det tilstrekkelig å kjenne avstanden til tre gitte lokasjoner. Hver avstandsmåling reduserer uvisshet med hensyn til hvor i landet vi befinner oss. Den forskningsmetodiske bruken av trianguleringsbegrepet er inspirert av dette.

Definisjon 5.2 *Metodetriangulering* innebærer at bestemte fenomener studeres fra ulike synsvinkler og synspunkter, og at problemstillingen belyses ved hjelp av forskjellige metoder [32].

Vi kan redusere uvisshet ved å gjenta evalueringen

- med nøyaktig samme oppsett (plassering og parameterisering av instrumenter og utstyr), utvalg av forsøkspersoner, omgivelse og så videre (*type 1*)

- med nøyaktig samme oppsett, men andre antatt ekvivalente utvalg, forskere, inputparametere og så videre (*type 2*)
- basert på annet oppsett eller annen forskningsmetode hvis svar er antatt å korrelere med den tidligere evalueringen på en nærmere bestemt måte (*type 3*)

Triangulering av type 1 er vanlig innen vitenskap generelt, og spesielt innen naturvitenskap. Man gjentar den samme evalueringen, eksperimentet eller undersøkelsen gang på gang basert på nye målinger eller datakilder for å få et så nøyaktig resultat som mulig.

Et eksempel på triangulering av type 2 er å gjenta en spørreundersøkelse på et nytt utvalg, som med hensyn til utvelgelseskriterier er tilnærmet ekvivalent med det forrige. Spriker resultatene, er det grunn til bekymring; er det samsvar, økes vår tiltro til funnene samtidig som vi muligens kan gi mer nøyaktige resultater.

Type 3-triangulering kan for eksempel innebære å teste ut resultater fra en data-simulering i en virkelig case for derved å kalibrere datasimuleringen slik at den forhåpentligvis gir mer korrekte resultater i det generelle tilfellet.

5.2.3 Fra generell til spesiell

Innledningsvis i et teknologivitenskapelig forskningsprosjekt er det problematisk, og som regel lite formålstjenlig, å planlegge evalueringen i detalj. Vi vet ganske enkelt for lite om nyskapningen – artefaktet som vi håper å finne opp eller komme frem til. Det er likevel anbefalelsesverdig at det på et tidlig tidspunkt utmeisles en overordna evalueringsplan som senere kan justeres og spesialiseres etter behov. En slik overordna plan bør ta stilling til hvilke evalueringsmetoder som er relevante, hvilke fasiliteter og ressurser de forutsetter, og hvordan vi tenker oss den praktiske gjennomføringen.

Etter hvert som nyskapningen meisles ut, er det naturlig å tenke gjennom evalueringsplanen på nytt, og spesielt med hensyn til følgende:

- *Generalitet*: Skal vi argumentere for at evalueringsresultatene holder generelt, må evalueringen organiseres og gjennomføres på en slik måte at vi kan bygge opp under det.
- *Kausalitet*: Skal vi kunne påstå at nyskapningen påvirker miljøet, brukerne eller andre fenomener i form av årsak–virkning, må evalueringen planlegges på en slik måte at alternative årsaker kan utelukkes.
- *Representativitet*: Skal noe modelleres, måles eller estimeres (kvalitativt eller kvantitativt), må det representeres riktig. En måling må for eksempel i størst mulig grad være et mål på det vi ønsker å måle.
- *Troverdighet*: Skal vi trekke overbevisende konklusjoner, må evalueringen utføres på en slik måte at dette faktisk er mulig; for eksempel rett statistisk metode, tilstrekkelig store og balanserte utvalg, tilstrekkelig antall gjentakelser og så videre.

I kapittel 11, hvor vi fokuserer på kvalitetssikring av resultater generelt, og evalueringer spesielt, introduserer vi fire gyldighetsbegreper som svarer til disse fire punktene, nemlig ekstern gyldighet, intern gyldighet, begrepsgyldighet og konklusjonsgyldighet.

5.3 Plan for dokumentering

Etterprøvnbarhet og repeterbarhet er idealer vi forskere streber etter å tilfredsstille. I hvor stor grad vi lykkes, avhenger av oss selv, men også av fagfelt og den forskningsmetoden vi benytter. Repeterbarhet er for eksempel problematisk for en aksjonsforsker. Aksjonsforskeren er selv aktiv innenfor det sosiale objektet det forskes på, og det er potensielt mange vanskelig kontrollerbare faktorer som kan påvirke utfallet. Innenfor andre fagfelt som for eksempel de klassiske naturvitenskapene, hvor forskningen utføres i avanserte laboratorier, forventes en høy grad av repeterbarhet.

Definisjon 5.3 *Etterprøvnbarhet* innebærer at andre forskere skal kunne kontrollere våre resultater.

Med andre ord, etterprøvnbarhet har vi i den grad det er mulig for andre å inspisere og sjekke den utførte forskningen, og hvordan vi kom frem til våre konklusjoner. Det nødvendiggjør tilgang til dokumentasjon om nyskaping samt våre data, materialer, analyser og deduksjoner.

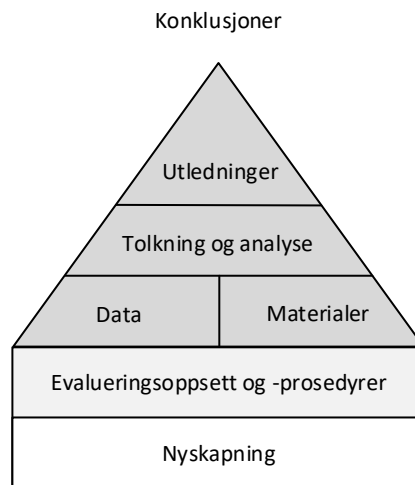
Definisjon 5.4 *Repeterbarhet* innebærer at andre forskere skal kunne gjenta våre undersøkelser og eksperimenter.

Det vil si, repeterbarhet har vi i den grad det er mulig for andre å sette opp og gjennomføre tilsvarende undersøkelser og eksperimenter for å kontrollere deres pålitelighet. En høy grad av etterprøvnbarhet og repeterbarhet medfører strenge krav til dokumentasjon som vanskelig lar seg tilfredsstille uten systematikk og nøye planlegging.

Dokumentasjon er viktig også av andre grunner. Forskningsresultater publiseres som rapporter eller artikler. Hvis vi ikke dokumenterer skikkelig, er konsekvensen gjerne at vi ikke har detaljene som trengs for å ferdigstille publikasjonene med tilstrekkelig eller ønsket kvalitet.

Figur 5.3 skiller mellom seks ulike typer dokumentasjon som i det generelle tilfellet alle er nødvendige for at andre skal kunne kontrollere våre konklusjoner:

- *nyskaping* – dokumentasjon av det nye artefaktets arkitektur og oppbygning fra grunnleggende komponenter;
- *evalueringsoppsett og -prosedyrer* – dokumentasjon av hvordan, i hvilken kontekst og under hvilke betingelser det nye artefaktet har blitt evaluert;
- *data* – dokumentasjon av ulike typer data knyttet til forskningen;



Figur 5.3 Dokumentasjonsbehov.

- *materialer* – dokumentasjon av ulike materialer knyttet til forskningen;
- *tolkning og analyse* – dokumentasjon av hvordan data og materialer har blitt tolket, bearbeidet og prosessert;
- *utledning* – dokumentasjon av argumentasjon og deduksjoner.

Konklusjonene baserer seg på tolkning og analyse med utgangspunkt i data og materialer fra evalueringer, hvor aspekter av nyskapningen er testet, vurdert og analysert i henhold til oppsett og prosedyrer.

Hvor omfattende det bør planlegges, avhenger av prosjektets art og størrelse. Involverer prosjektet kun en person, som dessuten har mye erfaring, trengs kanskje ingen plan i hele tatt. Er det derimot snakk om et stort internasjonalt prosjekt med mange partnere, bør det utarbeides planer som reflekterer alle disse punktene. I det følgende ser vi nærmere på hva dette egentlig innebærer.

5.3.1 Nyskapning

Teknologivitenskap innebærer nyskapning. Evalueringen har som mål å underbygge eller sannsynliggjøre nyskapningens ulike kvaliteter. Skal andre etterprøve eller gjenta disse, må nyskapningen dokumenteres i en slik detalj at den kan gjenskapes. Hvordan det gjøres rent praktisk, avhenger av hva slags nyskapning det er snakk om. Er det en ny type bygningsarkitektur, er kanskje byggetegninger det rette, er nyskapningen en kommunikasjonsprotokoll, kan såkalte sekvensdiagrammer være et godt valg, er nyskapningen en kjemisk substans, er kjemiske formler en mulighet, og er nyskapningen en arbeidsprosess eller et tjenesteforløp, kan en form for

flytdiagram benyttes. I planleggingsfasen gjelder det å være føre var og velge et regime som muliggjør en best mulig beskrivelse innenfor det feltet nyskapningen finner sted. Standardiserte notasjoner og beskrivelsesspråk er ofte å anbefale.

5.3.2 *Evalueringsoppsett og -prosedyrer*

Påstander og konklusjoner om en nyskapnings ulike egenskaper bygger vanligvis på et antall evalueringer. Andre forskere skal kunne kontrollere utførelsen av disse basert på tilgjengelig dokumentasjon og/eller ved å gjenta dem i sin helhet. Det forutsetter nøyaktig registrering av alt fra evalueringsoppsett til evalueringsresultater. Er det snakk om et laboratorieeksperiment, trengs informasjon om utstyr og instrumenter, hvordan dette utstyret ble konfigurert og parameterisert, hvordan det ble beskyttet mot forstyrrelser og uønsket påvirkning. Det er også behov for en detaljert beskrivelse av fremgangsmåter, metodikker og teknikker.

Uansett hva slags evaluering det er snakk om, er dokumentasjon viktig. Den bør være i henhold til internasjonalt aksepterte normer for det aktuelle fagfeltet og evalueringstype.

5.3.3 *Data*

Data refererer til ulike representasjoner av informasjon. Det kan være alt fra registreringer og instrumentavlesninger til bilder, film og lydopptak. Data er noe vi forskere samler inn, baserer oss på eller som resulterer fra forskningsaktiviteter vi utfører. Med hensyn til et forskningsprosjekt er det vanlig å skille mellom to typer data:

Definisjon 5.5

- *Primærdata*: Data som samles inn eller genereres som en del av prosjektet.
- *Sekundærdata*: Data som benyttes av prosjektet, men som har ekstern opprinnelse.

Primærdata kan man altså forstå som nye data som oppstår gjennom prosjektet, mens sekundærdata har sin opprinnelse utenfor prosjektet og er noe vi for eksempel får tilgang til via biblioteker. Det er også vanlig å skille mellom rådata og behandlede data:

Definisjon 5.6

- *Rådata*: Opprinnelige, ubehandlede data.
- *Behandlede data*: Data som har oppstått gjennom fortolkning og prosessering.

Med hensyn til et intervju kan rådata være et videoopptak av intervjuet, mens behandlede data er en transkribering av videoen. Distinksjonen mellom rådata og behandlede data er relativ i den betydning at behandlede data fra et prosjekt kan være rådata for et annet.

Hvordan data dokumenteres, avhenger av hva slags data det er snakk om. Igjen er det viktig å basere planer på internasjonalt aksepterte normer.

Behovsinnhenting, kravinnhenting og mange former for evaluering og analyse innebærer innsamling av synspunkter og måledata fra menneskelige subjekter, herunder observasjon, monitorering eller ulike former for opptak av menneskelig oppførsel. I den grad slik informasjonen er personidentifiserbar, faller den inn under personopplysningsloven, som er den viktigste rettskilden for å ivareta personvern. Basert på paragraf 102 i Grunnloven definerer vi personvern som følger:

Definisjon 5.7 *Personvern* innebærer den enkeltes rett til respekt for sitt privatliv, sitt familieliv, sitt hjem og sin kommunikasjon, at husransakelse kun kan finne sted i kriminelle tilfeller, og at statens myndigheter skal sikre et vern om den personlige integritet.

Personopplysningsloven gir generelle bestemmelser om behandling av personopplysninger, det vil si opplysninger som direkte eller indirekte kan knyttes til en fysisk person. Data klassifiseres med hensyn til i hvilken grad enkeltpersoner lar seg identifisere.

Definisjon 5.8

- *Anonymiserte data*: Data hvor personidentitet ikke kan utledes, verken direkte, indirekte eller via koblingsnøkkel.
- *Avidentifiserte data*: Data hvor identifikasjon av enkeltpersoner er vanskelig gjort ved at personidentitet er representert med en kode hvis koblingsnøkkel er lagret separat.
- *Direkte identifiserbare data*: Data hvor enkeltpersoners identitet klart fremgår.

Anonymiserte data faller ikke inn under personopplysningslovens bestemmelser. Hvis avidentifisering er gjort riktig, er avidentifiserte data å betrakte som anonymiserte så snart koblingsnøkkelen er slettet.

For forskningsdata som ikke er anonymisert, foreligger et detaljert regelverk. Avhengig av datamengde, type data og grad av samtykke fra berørte enkeltpersoner kan det være meldeplikt så vel som krav om konsesjon. Lovverk knyttet til personvern

er i endring – i Norge, i Europa og i varierende grad også i resten av verden. Det medfører at krav og rutiner for behandling av forskningsdata også endres. I en bok som fokuserer på en tilnærmet tidløs tematikk, er det lite hensiktsmessig å beskrive regelverk som muligens ser annerledes ut om fem år. Gjeldende lover og regler er tilgjengelig på Datatilsynets nettsider. Relevante instanser med hensyn til personvern og forskningsdata er når dette skrives:

- NSD – Norsk senter for forskningsdata
- REK – Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk

5.3.4 Materialer

Materialer betegner objekter, naturlige så vel som menneskeskapte. De kan være innsamlet, brukt som grunnlag eller generert som en del av forskningen. Materialer kan klassifiseres litt på samme måte som data. Det kan være nyttig å skille mellom primær- og sekundærmaterialer. Med hensyn til en arkeologisk utgravning er artefaktene man finner som en del av utgravningen, primære, mens artefaktene man henter ut fra magasiner for å sammenligne med egne funn, er sekundære. Materialer kan analogt klassifiseres med hensyn til om de er behandlet eller ikke. En plante er ubehandlet når den samles inn, men behandlet når den etter tørking inkluderes i et herbarium. Eksempelene over stammer fra forklaringsvitenskapen, men dokumentasjon av materialer er relevant også innen teknologivitenskap. Et typisk eksempel er 3D-skriving. Har vi designet en ny type 3D-skriver, er det naturlig å ta vare på enkelte utskrevne artefakter slik at andre selv kan gjøre sammenligninger og målinger ved senere høve.

5.3.5 Tolkning og analyse

Forskning innebærer databehandling – manuelt og/eller maskinelt. Overgangen fra rådata til behandlede data innebærer etiske utfordringer. Aidentifisering, som vi alt har vært inne på, er en slik. Behandling av såkalte *outliers*, i norsk språkdrakt «sterkt avvikende observasjoner eller målinger», er en annen. Valg av metodikk for databehandling er en tredje. Er de antagelsene metodikken bygger på, fullt ut tilfredsstillende? Rekkefølgen ting gjøres i, er avgjørende. Er databehandlingen et ledd i en hypotesetesting, må hypotesene være ferdig definert på forhånd. Dersom databehandlingen er et ledd i prosessen for å identifisere hypoteser, må vi bruke andre, friske data når disse hypotesene skal testes. Det vil nemlig alltid være tilfeldige korrelasjoner i en mengde data.

Hvordan vi gjennomfører dataanalyser, avhenger av hva slags data det er snakk om. Opptak fra intervjuer vil typisk kodes og anonymiseres før videre prosessering. Resultatet vil naturlig nok avhenge av kodingsstrategi, og den må derfor beskrives.

Kvantitative data vil ofte utsettes for ulike statistiske analyser. Hvilke metoder som benyttes og forutsetninger som gjøres, er helt avgjørende for resultatet, og må derfor dokumenteres.

5.3.6 Utledninger

Skal våre konklusjoner være holdbare, må argumentasjonen være holdbar. Argumentasjon kan være matematiske resonnerer, logiske deduksjoner eller mer uformelle utledninger basert på sunn fornuft. I planleggingsfasen må vi ta stilling til hvilke prinsipper argumentasjonen skal tilfredsstillere, og hvordan den skal gjøres tilgjengelig for andre.

Kapittel 6

Hypoteser

Teknologivitenskapelige forskere bruker hypotesebegrepet i mindre grad enn andre forskere. Hva er årsaken til dette? I seksjon 6.1 tar jeg opp dette spørsmålet. Jeg forklarer hvorfor, samt at dette ikke nødvendigvis er feil fra et forskningsmetodisk ståsted.

I kapittel 2 definerte vi begrepet hypotese som en antagelse eller gjetning uttrykt i form av en påstand (definisjon 2.13). Rent grammatisk er altså en hypotese en påstand. Når hypotesen formuleres, representerer den et forslag eller en ide som vi tror kan være riktig eller i det minste fruktbar for det videre arbeidet. Det finnes mange ulike typer hypoteser. Noen er overordna og formuleres tidlig i forskningsprosessen. Andre er detaljerte, utarbeides sent i nyskappingsfasen og utsettes for intensiv evaluering.

Hypoteser av førstnevnte kategori omtales gjerne som arbeidshypoteser, og de revideres og erstattes etter hvert som forskningen skrider frem. Seksjon 6.2 tar for seg arbeidshypoteser. Spesielt ser vi nærmere på metodeorienterte arbeidshypoteser – hypoteser som påstår noe om hvilken forskningsmetode som egner seg for å nå forskningsmålet.

Hypoteser som tilhører den andre kategorien, de som er detaljerte og utsettes for seriøs evaluering, er det nyttig å klassifisere videre. Seksjon 6.3 skiller mellom universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser. Denne distinksjonen er viktig når hypoteser skal evalueres.

Filosofen Karl Popper (1902–1994) er viden kjent for sin falsifikasjonsteori. Kort og populært: Hypoteser kan ikke verifiseres, de kan kun falsifiseres. I seksjon 6.4 diskuteres riktigheten av dette utsagnet. Når er det mulig å verifisere, når kan vi falsifisere, og når kan vi strengt tatt ingen av delene?

I dette kapitlet, som ellers i boka, er vi først og fremst opptatt av teknologivitenenskap, men som påpekt tidligere, mange teknologivitenskapelige forskningsprosjekter innbefatter underprosjekter som faller inn under forklaringsvitenskap. Det kan for eksempel være nødvendig å gjennomføre en evaluering av allerede eksisterende teknologier. Det kan også være påkrevet å utføre empiriske undersøkelser for nærmere å kartlegge brukerbehov. I dette kapitlet vil vi derfor også ta for oss

hypotesebegrepet som det anvendes innen de områdene av forklaringsvitenskapen som er relevante for slike underprosjekter.

6.1 Implisitte hypoteser

Mye forskningslitteratur vektlegger hypotesens rolle. Følgende sitat [28] er et godt eksempel:

Et viktig aspekt ved forskningsprosessen er at arbeidet som regel (kanskje alltid?) foregår i forhold til hypoteser. I noen tilfeller er relasjonene til hypoteser lette å få øye på, og forskeren er selv klar over at han forsøker å finne støtte for noen hypoteser, at han forsøker å avkrefte andre hypoteser, eller at arbeidet nettopp består i å sette frem nye hypoteser (som kanskje kan forklare fenomener som ikke så lett lot seg forklare fra de gamle hypotesene). I andre tilfeller kan hypotesene være vanskeligere å få øye på.

Mange teknologivitenskapelige publikasjoner anvender overhodet ikke hypotesebegrepet. I noen tilfeller er det fordi forfatterne er dårlige forskere eller skribenter, men ofte er grunnen at hypotesen eller hypotesene følger implisitt fra annen dokumentasjon i publikasjonen. Vi snakker da om implisitte hypoteser, i motsetning til hypoteser som foreligger eksplisitt.

Definisjon 6.1 En *implisitt hypotese* er en hypotese som følger implisitt eller kan deduseres fra annen tilgjengelig dokumentasjon.

Faktisk har vi etablert en implisitt hypotese så snart artefaktbehovet er klart karakterisert, nemlig at *det er mulig å tilfredsstille dette behovet*. Sagt på en annen måte, når artefaktbehovet er karakterisert, har vi implisitt en hypotese på formen:

Det er mulig å lage et artefakt som tilfredsstiller artefaktbehovet [...].

Hadde vi ikke trodd eller i det minste hatt et håp om at det var mulig, ville vi neppe funnet det bryet verdt å beskrive artefaktbehovet og i enda mindre grad utføre forskningen. Det samme gjelder hypoteser på formen:

Ved å benytte den spesifiserte forskningsmetoden [...] er det mulig å lage et artefakt som tilfredsstiller artefaktbehovet [...].

Hypoteser uttrykt i henhold til disse skjemaene (skjema siden [...] kan fylles på uendelig mange måter) er implisitte. De er også initielle, siden de er gitt før den egentlige nyskapningen starter.

Definisjon 6.2 En *initieell hypotese* er en hypotese som kan avledes fra problemanalysen (det vil si dokumentasjonen fra problemanalysen).

I motsetning til en initiell hypotese påstår en løsningsorientert hypotese noe utover det som er uttrykt i problemanalysen. Ideelt sett er dette noe kreativt, nyskapende eller i det minste noe vi tror eller håper er et trinn på veien mot en løsning.

Definisjon 6.3 En *løsningsorientert hypotese* er en hypotese som påstår noe mer enn det som kan deduseres fra problemanalysen, noe som potensielt bringer oss i rett retning.

Også løsningsorienterte hypoteser kan følge implisitt fra annen dokumentasjon utarbeidet som en naturlig del av et teknologivitenskapelig forskningsprosjekt, for eksempel en kravspesifikasjon eller en designspesifikasjon. Siden kravspesifikasjonen vanligvis er en detaljering av artefaktbehovet og designspesifikasjonen egentlig er en gjetning eller et forslag med hensyn til hvordan vi kan fremstille et artefakt som tilfredsstillende kravspesifikasjonen, har vi implisitt også hypoteseskjemaene:

Dersom artefaktet tilfredsstillende kravspesifikasjonen [...] tilfredsstillende artefaktet også artefaktbehovet [...].

Det er mulig å lage et artefakt i henhold til designspesifikasjonen [...] som tilfredsstillende kravspesifikasjonen [...].

Fra disse to skjemaene kan vi utlede et tredje skjema:

Det er mulig å lage et artefakt i henhold til designspesifikasjonen [...] som tilfredsstillende artefaktbehovet [...].

Hypotesene uttrykt i henhold til disse skjemaene er alle implisitte, men også løsningsorienterte, da de påstår mer enn det som allerede er spesifisert i problemanalysen.

Når nyskapningen er gjennomført og artefaktet beskrevet, følger helt analogt nye hypoteser i henhold til skjemaene under som både er implisitte og løsningsorienterte:

Artefaktet beskrevet i [...] tilfredsstillende designspesifikasjonen [...].

Artefaktet beskrevet i [...] tilfredsstillende kravspesifikasjonen [...].

Artefaktet beskrevet i [...] tilfredsstillende artefaktbehovet [...].

Med andre ord, innen teknologiforskning uttrykkes hypoteser ofte implisitt i form av annen dokumentasjon. Mange teknologiforskere refererer derfor i liten grad til hypotesebegrepet eksplisitt selv om de i praksis arbeider hypoteseorientert.

Figur 6.1 oppsummerer hvordan hypotesebegrepene introdusert i denne seksjonen relaterer seg til hverandre. Enhver hypotese er enten initiell eller løsningsorientert, og det gjelder for hypoteser generelt. Likeledes, alle hypoteser er enten implisitte eller eksplisitte. Ruten for initielle, eksplisitte hypoteser er hvit fordi de færreste formulerer initielle hypoteser eksplisitt. Ruten for initielle, implisitte hypoteser er lysegrå fordi slike hypoteser forekommer i alle prosjekter der det foreligger en skikkelig problemanalyse. De fleste hypoteser er imidlertid løsningsorienterte, og

	Initielle	Løsningsorienterte	
Implisitte			<i>Økt grad av skyggelegging indikerer mer vanlig</i>
Eksplisitte			

Figur 6.1 Sammenheng mellom initielle, implisitte, eksplisitte og løsningsorienterte hypoteser.

blant disse er eksplisitte hypoteser mer vanlige enn implisitte, i hvert fall hvis vi tar vitenskapene som helhet i betraktning (og ikke kun teknologivitenskap).

I resten av dette kapitlet fokuserer vi på eksplisitte hypoteser, men stoffet er like relevant og problemstillingene er de samme om man kun anvender hypotesebegrepet implisitt.

6.2 Arbeidshypoteser

I løpet av et helt forskningsprosjekt kan vi være innom mange hypoteser. Noen viser seg å være holdbare, andre videreutvikles og noen forkastes helt. Hypotesene vil typisk skifte karakter etter hvert som prosjektet skrider frem. Tidlig i forskningen baserer vi oss på såkalte arbeidshypoteser.

Definisjon 6.4 En *arbeidshypotese* er en foreløpig hypotese som vi aksepterer som grunnlag for videre forskning.

I en tidlig fase kan vi være av den oppfatning at visse allerede eksisterende teknologier representerer en løsning hvis de kombineres på rett måte, og da utgjør dette en arbeidshypotese. Den kan uttrykkes på formen:

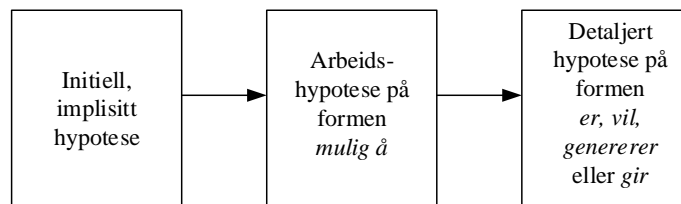
Det er mulig å tilfredsstille artefaktbehovet [...] ved å kombinere teknologiene [...].

En hypotese uttrykt i henhold til dette skjemaet vil normalt ikke bli presentert som et forskningsresultat. Til det er den altfor svak. Den fungerer imidlertid utmerket som en arbeidshypotese som etter hvert forfines eller erstattes av nye hypoteser som inkluderer mer eksakte beskrivelser av hvordan teknologiene bør kombineres. En slik hypotese kan være på formen:

Ved å kombinere teknologiene [...] i henhold til beskrivelse [...] vil artefaktbehovet [...] tilfredsstilles.

Det er disse mer detaljerte hypotesene som utsettes for en grundig evaluering når (og hvis) vi kommer så langt, og som kan egne seg for publisering hvis de viser

seg holdbare. De to hypoteseskjemaene over beskriver løsningsorienterte hypoteser (figur 6.1).



Figur 6.2 Arbeidshypotesens rolle.

Som illustrert i figur 6.2 fungerer arbeidshypoteser til en viss grad som bindeledd mellom initielle, implisitte hypoteser og de detaljerte hypotesene som vi prøver å komme frem til. I likhet med initielle hypoteser er mange arbeidshypoteser svake. Ofte påstår de kun at noe *er mulig*. De detaljerte hypotesene er langt sterkere. De hevder at noe *er, vil, genererer, gir* eller lignende. Innen teknologivitenskap beskriver de gjerne en oppskrift på hvordan bygge et artefakt som tilfredsstillende behovet.

En arbeidshypotese kan også si noe om hvilken forskningsmetode som er fruktbar eller egner seg for å løse det problemet vi er opptatt av. Hypoteser av sistnevnte type kaller vi metodeorienterte, og mange arbeidshypoteser er nettopp det.

Definisjon 6.5 En *metodeorientert hypotese* påstår noe om hvilken forskningsmetode som egner seg for å løse et bestemt problem.

Den implisitte, initielle hypotesen i seksjon 6.1 som refererer til forskningsmetoden, er metodeorientert fordi den uttrykker noe om den utvalgte forskningsmetodikkens egnethet. Det er vanlig og anbefalingsverdig å beskrive den planlagte forskningsmetoden som en del av problemanalysen, men da på et overordna nivå. Selve anvendelsen skjer først senere i prosjektet, ut ifra hva vi mener er mest fruktbart. At den valgte forskningsmetoden egner seg for å løse det aktuelle problemet, er en metodeorientert hypotese selv om den ofte kun forekommer implisitt og ikke omtales som en hypotese.

De fleste metodeorienterte hypotesene forekommer tidlig i forskningsprosessen og faller inn under begrepet arbeidshypotese. I visse sammenhenger er imidlertid også hypotesen vi ender opp med, og som blir gjenstand for detaljert evaluering, metodeorientert. Det er ikke uvanlig at et forskningsprosjekt i tillegg til å løse det opprinnelige problemet også bidrar med en ny eller forbedret forskningsmetode. I så fall må det foreligge en metodeorientert hypotese samt argumentasjon for at den er riktig.

Eksempel 6.1 (Innhenting av artefaktbehov). Artefaktbehov kan kartlegges på mange vis. En mulig fremgangsmåte er å kombinere dybdeintervju med spørreundersøkelse. Arbeidshypotesen kan da uttrykkes som følger:

Det er mulig å avdekke behovet for ny teknologi ved å utføre en spørreundersøkelse etterfulgt av dybdeintervjuer basert på funnene i spørreundersøkelsen.

Når vi har en detaljert plan for både spørreundersøkelse og dybdeintervju, kan vi formulere en langt sterkere hypotese på formen:

En spørreundersøkelse etterfulgt av dybdeintervjuer i henhold til plan [...] vil avdekke behovet for ny teknologi.

Eksempel 6.2 (Bruk av sosiale nettverk). Metodeorienterte arbeidshypoteser er som regel eksistensielle. Følgende arbeidshypotese er i så måte et godt eksempel:

Det er mulig å gi et fyllestgjørende bilde av norsk ungdoms bruk av sosiale nettverk ved å utføre dybdeintervju av et mindre antall ungdommer bosatt i Norge.

Hypotesen er metodeorientert fordi den foreslår en forskningsmetode, nemlig dybdeintervju av et mindre antall ungdommer bosatt i Norge. Den er eksistensiell fordi den kun påstår at det i prinsippet er mulig å oppnå et fyllestgjørende bilde ved bruk av denne metoden. Med andre ord, den påstår ikke at man vil lykkes hver gang man anvender metoden. Det er denne hypotesens svakhet og grunnen til at den kun egner seg som arbeidshypotese. Den mangler det detaljnivået som karakteriserer hypoteser som utsettes for en grundig evaluering.

En mulig detaljering av hypotesen er som følger:

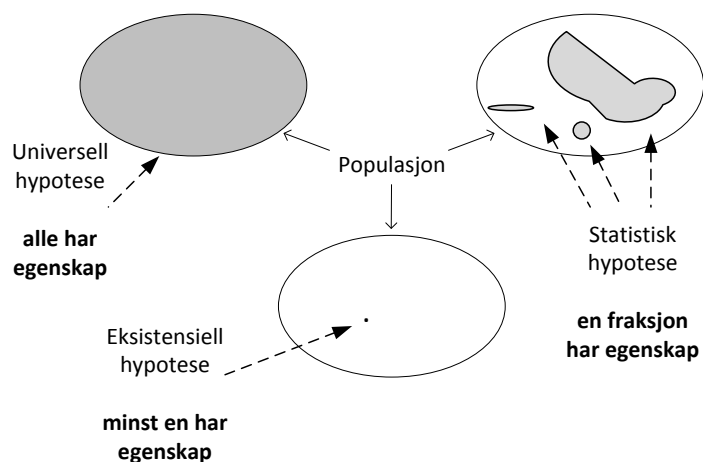
Dybdeintervju i henhold til `IntervjuGuideMedSpørsmålDok` av ti personer valgt ut i henhold til `UtvelgelsesProsedyreDok` gir et fyllestgjørende bilde av norsk ungdoms bruk av sosiale nettverk.

Også denne hypotesen er metodeorientert. Den er imidlertid universell og ikke eksistensiell som den forrige. Den påstår at hver gang vi utfører intervjuer i henhold til intervjuguiden på ti personer valgt ut i henhold til den spesifiserte prosedyren, vil vi få et fyllestgjørende bilde av norsk ungdoms bruk av sosiale nettverk.

6.3 Universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser

Vi har sett at teknologiforskning kan bedrives uten å anvende hypotesebegrepet eksplisitt og likevel være forskningsmetodisk korrekt. I denne boka skiller vi derfor mellom eksplisitte og implisitte hypoteser. Vi skiller også mellom initielle og løsningsorienterte hypoteser for å understreke forskjellen mellom hypoteser som kun gjentar hva som allerede er gitt eller kan deduseres fra problemanalysen, og hypoteser som bidrar til å bringe oss i retning av en potensiell løsning. Til slutt har vi også diskutert arbeidshypoteser og fremhevet at mange arbeidshypoteser er metodeorienterte.

I denne seksjonen går vi nærmere inn på forskjellene mellom universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser. Som forklart i kapitlene 8–10 er dette en viktig distinksjon fra et evalueringsperspektiv. Det nemlig stor forskjell på hvordan hypoteser evalueres avhengig av om de er universelle, eksistensielle eller statistiske. Figur 6.3



Figur 6.3 Illustrasjon av universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser.

illustrerer distinksjonen. Alle tre typene hypoteser tar utgangspunkt i en populasjon. En universell hypotese påstår at ethvert element eller medlem av populasjonen har en bestemt egenskap, en eksistensiell hypotese påstår at minst ett element i populasjonen har en bestemt egenskap, mens en statistisk hypotese, i det enkleste tilfellet, påstår at en nærmere spesifisert fraksjon av populasjonen har en bestemt egenskap. I det generelle tilfellet beskriver statistiske hypoteser en distribusjon, men det er ikke illustrert i figuren.

De enkleste hypotesene dreier seg om kun en populasjon, og slike hypoteser er (normalt) enten universelle, eksistensielle eller statistiske. Mer sofistikerte hypoteser inneholder eller er satt sammen av underhypoteser. De refererer typisk til flere populasjoner og kan være vanskeligere å klassifisere. Slike sammensatte hypoteser kommer vi tilbake til mot slutten av kapitlet.

6.3.1 Universelle hypoteser

En universell hypotese påstår at noe bestemt kjennetegner alle elementer av en populasjon. Populasjonen kan være uendelig – for eksempel alle tidspunkter. Populasjonen kan også være endelig, men svært stor. Alle arter pattedyr som har eksistert

på jorda frem til i dag, er en endelig, men svært stor populasjon. Populasjonen kan også være liten – for eksempel alle planeter i vårt solsystem.

Definisjon 6.6 En *universell hypotese* er en påstand om at ethvert medlem av en populasjon har en bestemt egenskap.

Eksempel 6.3 (Eksempler på universelle hypoteser). Følgende hypotese er universell og ble i Europa lenge ansett for å være riktig:

Alle svaner er hvite.

Populasjonen i dette tilfellet er alle svaner. Det var først da europeerne kom til Australia, at de fant ut at det faktisk også finnes svarte svaner.¹²

Svært mange hypoteser innen forklaringsvitenskap er universelle. Et klassisk eksempel er Newtons første lov:

Enver gjenstand forblir i ro eller beveger seg med konstant hastighet i en rett linje hvis ingen kraft virker på gjenstanden, eller hvis summen av kreftene som virker på gjenstanden, er lik null.

Populasjonen er i dette tilfellet alle gjenstander. Heller ikke denne hypotesen er riktig i det generelle tilfellet, selv om den er gyldig for det som var observerbart på Newtons tid. Newtons første lov gjelder ikke for svært små legemer som atomer, elektroner, nøytroner og så videre. Da er det kvantemekanikkens teorier som må benyttes. Den gjelder heller ikke for svært høye hastigheter. Da trengs relativitetsteorien.

De to universelle hypotesene over tilhører forklaringsvitenskap. Universelle hypoteser er også vanlige innen teknologivitenskap. For Edisons lypærepateent kan vi formulere følgende universelle hypotese:

Enhver lypære bygget og forsynt med likestrøm i henhold til Thomas Alva Edisons patent 223 898 datert 27. januar 1880 avgir et hvitt lys.

Universelle hypoteser innen teknologivitenskap vil typisk referere til en spesifikkasjon eller beskrivelse av artefaktet, som patentet i hypotesen over.

Innen teknologivitenskap er hypoteser som overlever tilstrekkelig lenge til at de utsettes for en detaljert evaluering, gjerne universelle. Det kan skyldes at vi som i hypotesen over ønsker å lage mange kopier av det nye artefaktet, og da er en beskrivelse som muliggjør dette i form av en slags oppskrift, påkrevd. Det kan også

¹ Svarte svaner ble observert for første gang av en europeer i 1697. Det skjedde i Australia under en ekspedisjon ledet av den nederlandske oppdageren Willem de Vlamingh (1640–1698) [105].

² En *svart svane* kan også betegne en hendelse som er ekstremt sjelden og uventet, men har svært signifikante konsekvenser. Metaforen var i bruk alt på 1600-tallet og har overlevd frem til våre dager. I dag anvendes den kanskje mer enn noen gang tidligere på grunn av Nassim Nicholas Talebs (1960) skrifter [92].

skyldes at det nye artefaktet må kunne håndtere mange forskjellige scenarier, alternativt et høyt antall ulike parametere eller argumenter. Følgende hypotese, hvor artefaktet er en app, eksemplifiserer nettopp dette.

For ethvert fotografi av et levende dyr identifiserer appen `ArtBestemmelse` rett dyreart.

I denne boka foreslår vi en del gjenbrukbare skjemaer eller mønstre for hypoteseformulering. De vil ikke egne seg i alle tilfeller, og resultatet av å fylle dem ut vil ofte lyde litt kunstig. Skjemaene kan imidlertid være nyttige utgangspunkt for en hypotese selv om sluttversjonen eller den endelige formuleringen avviker noe fra skjemaet.

Innen forklaringsvitenskap kan mange universelle hypoteser skrives på formen:

Ethvert fenomen av/i kategori er/vil [...]

Innen teknologivitenskap er følgende skjemaer ofte nyttige:

Ethvert artefakt bygget i henhold til artefaktbeskrivelse er/vil [...]

I enhver kontekst genererer/gir artefakt/artefaktanvendelse [...]

For ethvert argument genererer/gir artefakt/artefaktanvendelse [...]

Termene i kursiv detaljeres ved bruk av skjemaene. Forekomstene av «[...]» er plassholdere for kvaliteten, behovet eller kravene som skal tilfredsstilles, mens «/» skiller mellom ulike alternativer.

Eksempel 6.4 (Skjematiske versjoner av eksempler på universelle hypoteser). Ved anvendelse av gjenbrukbare skjemaer kan som nevnt resultatet bli litt kunstig fra et språklig ståsted sammenlignet med hypoteser som formuleres fritt. Benytter vi skjemaene over på de fire hypotesene fra eksempel 6.3, får vi følgende:

Enhver fugl **av** arten svane **er** hvit.

Enhver gjenstand **i** en tilstand av ro eller bevegelse i en rett linje med konstant hastighet **vil** forbli i denne tilstanden hvis ingen kraft virker på gjenstanden, eller hvis summen av kreftene som virker på gjenstanden, er lik null.

Enhver lyspære **bygget i henhold til** Thomas Alva Edisons patent 223 898 datert 27. januar 1880 **vil** avgi hvitt lys hvis den forsynes med likestrøm.

For ethvert fotografi av et levende dyr **gir** appen `ArtBestemmelse` rett dyreart.

6.3.2 Eksistensielle hypoteser

En eksistensiell hypotese påstår at det finnes minst ett element eller fenomen i en populasjon med en bestemt egenskap. Innen teknologivitenskap er påstanden vanligvis

at det er mulig å konstruere et artefakt av en bestemt type. En eksistensiell hypotese kan normalt ikke motbevises gitt at vi ikke har tilgang til hele populasjonen og den er liten nok til at det er praktisk gjennomførbart å undersøke alle. Uansett hvor lenge vi leter, hvor mange fenomener vi sjekker eller forslag til løsninger vi kommer opp med uten å finne det vi er ute etter, kan et fenomen som tilfredsstillende hypotesen likevel eksistere, i hvert fall hvis hypotesen ikke er selvmotsigende.

Definisjon 6.7 En *eksistensiell hypotese* er en påstand om at det i en spesifikk populasjon finnes minst ett eksemplar med en bestemt egenskap.

Eksempel 6.5 (Eksempler på eksistensielle hypoteser). Den avskyelige snømannen er en skapning som i henhold til legendene lever i Himalaya. Yetien, som den kalles lokalt, er halvt dyr, halvt menneske, omtrent 1,80 m høy, dekket med rødbrun pels, med hårløst ansikt [85]. Mange har lett etter denne skapningen, men ingen har lyktes i å dokumentere dens eksistens. De har alle tatt utgangspunkt i varianter av følgende eksistensielle hypotese:

Det finnes en avskyelig snømann i Himalaya.

Hypotesen om den avskyelige snømannen dukker stadig opp på nytt, om enn ikke i seriøse vitenskapelige tidsskrifter. Årsaken er at Himalaya er stort, øde og lite tilgjengelig. Det er derfor mange muligheter for å gjemme seg bort.

Vi har i tidligere kapitler sett flere eksempler på tilsvarende hypoteser, som hypotesen om eksistensen av planeten Vulkan (eksempel 2.5). Den påstår:

Det finnes en planet som går i bane mellom Sola og Merkur.

Også denne hypotesen dukker opp på nytt i stadig nye varianter. Per 2013 kan man ifølge [84] utelukke eksistensen av vulkanoider hvis diameter er større enn 5,7 km.

Også innen teknologivitenskap er eksistensielle hypoteser vanlige. Som forklart i eksempel 2.3 ble selve konseptet for den moderne flyvemaskinen definert av George Cayley så tidlig som i 1799 – over 100 år før brødrene Wright lyktes med å lage en prototype som faktisk kunne fly. 1800-tallets pionerer, som lot seg inspirere av Cayleys konsept, tok utgangspunkt i følgende eksistensielle hypotese:

Det er mulig å bygge en motorisert maskin i henhold til Cayleys konsept som kan gjennomføre kontrollerte flyvninger.

Også for eksistensielle hypoteser finnes gjenbrukbare skjemaer eller mønstre for hypoteseformulering. Mange eksistensielle hypoteser innen forklaringsvitenskap kan uttrykkes i henhold til følgende skjema:

Det finnes et fenomen av/i kategori [...]

Likeledes, eksistensielle hypoteser innen teknologivitenskap kan ofte uttrykkes ved hjelp av følgende skjema:

Det er mulig å bygge et artefakt i henhold til artefaktbeskrivelse [...]

Eksempel 6.6 (Skjematiske versjoner av eksempler på eksistensielle hypoteser). Ved å anvende skjemaene over på hypotesene fra eksempel 6.5 får vi følgende:

Det finnes et levende eksemplar **av** avskyelig snømann i Himalaya.

Det finnes et himmellegeme **av** type planet som går i bane mellom Sola og Merkur.

Det er mulig å bygge en motorisert maskin **i henhold til** Cayleys konsept som kan gjennomføre kontrollerte flyvninger.

Eksistensielle og universelle hypoteser er nær forbundet. Den motsatte påstanden til en universell hypotese er en eksistensiell hypotese, og den motsatte påstanden til en eksistensiell hypotese er en universell hypotese, som eksemplifisert under:

- Den motsatte påstanden til den universelle hypotesen *alle svaner er hvite* er den eksistensielle hypotesen *det finnes en svane som ikke er hvit*.
- Den motsatte påstanden til den eksistensielle hypotesen *det finnes svarte svaner* er den universelle hypotesen *alle svaner har farge forskjellig fra svart*.

Det å ta det motsatte av noe kalles ofte å negere:

Definisjon 6.8 En påstand er en *negasjon* av (eller negerer) en annen påstand hvis førstnevnte uttrykker nøyaktig det motsatte av sistnevnte.

En hypoteses negasjon uttrykker altså nøyaktig det motsatte av hypotesen. Hvis negasjonen er falsk, er hypotesen sann.

Eksempel 6.7 (Negasjoner av eksempler på eksistensielle hypoteser). Ved å negere de tre eksistensielle hypotesene fra eksempel 6.5 får vi:

Det finnes ingen avskyelig snømann i Himalaya.

Det finnes ingen planet som går i bane mellom Sola og Merkur.

Det er umulig å bygge en motorisert maskin i henhold til Cayleys konsept som kan gjennomføre kontrollerte flyvninger.

Hver negasjon påstår det motsatte av hypotesen den negerer. Mens hypotesen om eksistensen av avskyelige snømenn i Himalaya i beste fall er svært krevende å motbevise, er dens negasjon motbevist så snart et eksemplar er funnet. Ved at negasjonen har blitt motbevist, har man indirekte verifisert den opprinnelige hypotesen som var utgangspunktet. Innen matematikken kalles denne typen bevisførsel *bevis ved selvmotsigelse* (eller kontradiksjon).

6.3.3 Statistiske hypoteser

En statistisk hypotese uttaler seg om en populasjon som en helhet. Den kan referere til statistiske begreper som sannsynlighet, hyppighet eller fordeling, men det er ikke det som gjør den til en statistisk hypotese. Hypotesen under er statistisk fordi den påstår noe om gjennomsnittet for populasjonen norske kvinnelige rekrutter.

Den gjennomsnittlige høyden til norske kvinnelige rekrutter er 1,65 meter.

Statistiske hypoteser benyttes innen de fleste vitenskaper. Følgende definisjon, inspirert av [109], oppsummerer hva som vanligvis legges i begrepet.

Definisjon 6.9 En *statistisk hypotese* er en påstand om verdien til en (eller flere) parameter(e) for en populasjon. Den kan påstå noe om parameterens verdi (for eksempel gjennomsnitt, størrelsesforhold eller median) eller om dens sannsynlighetsfordeling (for eksempel normalfordeling, uniform fordeling, logaritmisk fordeling).

Eksempel 6.8 (Eksempler på statistiske hypoteser). Vi presenterte et eksempel på en statistisk hypotese om gjennomsnittlig høyde over. Hypotesene under representerer andre varianter:

Alderen til medlemmene i brukergruppa er tilnærmet normalfordelt.

Andelen kvinner blant de ansatte er mindre enn 25 %.

Sannsynligheten for at en pasient dør i forbindelse med en hjertetransplantasjon, er 0,1.

I mer enn 80 % av alle norske IT-bedrifter med mer enn 30 ansatte vil implementering av den nye virksomhetsarkitekturen føre til økt lønnsomhet.

Den gjennomsnittlige tiden mellom påfølgende feiltilstander for droner bygget i henhold til det nye robusthetsprinsippet er minst 5 timer.

Parameterne er i eksemplene over henholdsvis alderen, andelen kvinner, sannsynlighet for død i forbindelse med en hjertetransplantasjon, andelen bedrifter med økt lønnsomhet og gjennomsnittlig tid mellom to feil, mens populasjonene er representert ved brukergruppa, ansatte, hjertetransplantasjonspasienter, norske IT-bedrifter med mer enn 30 ansatte og droner bygget i henhold til det nye robusthetsprinsippet.

Også for statistiske hypoteser finnes det gjenbrukbare skjemaer som vi kan anvende. Innen forklaringsvitenskap kan følgende skjemaer være til hjelp:

Fenomener av/i kategori er/vil [...]

Andelen av populasjon hvis/som [...] er/vil [...]

Tilsvarende skjemaer for teknologivitenskap er:

Artefakter bygget i henhold til artefaktbeskrivelse er/vil [...]

Andelen av populasjon hvis/som [...] ved artefaktanvendelse er/vil [...]

Statistiske hypoteser finnes i mange varianter, og det eksisterer et stort antall nyttige skjemaer, men i denne boka nøyer vi oss med disse fire. Bruk av skjemaene eksemplifiseres i det følgende.

Eksempel 6.9 (Skjematiske versjoner av eksempler på statistiske hypoteser). Bruker vi skjemaet over på hypotesene fra eksempel 6.8, ender vi opp med:

Alderen til medlemmene i brukergruppa **er** tilnærmet normalfordelt.

Andelen av ansatte hvis kjønn er kvinne, **er** under 25 %.

Andelen av hjertetransplantasjonspasienter **som** dør i forbindelse med hjertetransplantasjonen, **er** 10 %.

Andelen av norske IT-bedrifter med mer enn 30 ansatte **hvis** lønnsomhet øker ved implementering av ny virksomhetsarkitekturen, **er** over 80 %.

Droner **bygget i henhold til** det nye robusthetsprinsippet **vil** i gjennomsnitt fungere i minst 5 timer mellom to påfølgende feiltilstander.

Den første hypotesen er i henhold til det første skjemaet, den andre og tredje hypotesen er i henhold til det andre skjemaet, den fjerde hypotesen er i henhold til det fjerde skjemaet, mens den femte hypotesen er i henhold til det tredje skjemaet.

6.3.4 Sammensatte hypoteser

Som nevnt innledningsvis i denne seksjonen er hypoteser i praksis ofte sammensatte i den betydning at de inneholder eller kombinerer underhypoteser. Slike hypoteser vil normalt referere til mer enn en populasjon. Sammensatte hypoteser kan være vanskeligere å klassifisere med hensyn til om de er universelle, eksistensielle eller statistiske. Følgende hypoteser refererer til to populasjoner, nemlig sommerfuglarter og sommerfugler av en bestemt art.

H_1 – Det finnes en art sommerfugler med et gjennomsnittlig vingespenn på mer enn 50 cm.

H_2 – Alle sommerfuglarter har et gjennomsnittlig vingespenn på mindre enn 50 cm.

Hypotesen H_1 er eksistensiell fordi den hevder at det eksisterer minst en sommerfuglart med en bestemt egenskap. Hypotesen H_2 er universell fordi den påstår noe om alle sommerfuglarter. Det som kan forvirre, er at begge inneholder en statistisk underhypotese på formen:

Eksemplarene av sommerfuglarten [...] har et gjennomsnittlig vingespenn på [...] enn 50 cm.

Med andre ord, $H1$ og $H2$ kan reformuleres som følger:

$H1$ – Det finnes en art sommerfugler hvis eksemplarer har et gjennomsnittlig vingespenn på mer enn 50 cm.

$H2$ – For enhver sommerfuglart har eksemplarene et gjennomsnittlig vingespenn på mindre enn 50 cm.

Populasjonen for underhypotesen er i begge tilfeller sommerfugler av en bestemt art. Denne populasjonen er bundet til populasjonen sommerfuglarter og er derfor underordna denne. Hypotesen $H1$ påstår at det finnes minst en sommerfuglart som tilfredsstill underhypotesen. $H2$ påstår at underhypotesen er sann for alle sommerfuglarter.

Hypotesen $H3$ er statistisk.

$H3$ – For minst 10 % av alle sommerfuglarter finnes det forekomster i Afrika.

Den dreier seg om populasjonen sommerfugler, men inneholder en eksistensiell underhypotese om populasjonen sommerfuglarter i Afrika.

Hypotesen $H4$ er også statistisk.

$H4$ – Minst 25 % av alle sommerfuglarter som forekommer naturlig i Afrika, forekommer kun i Afrika.

$H4$ uttaler seg om sommerfuglarter, men inneholder en universell underhypotese om sommerfugler av en bestemt art.

Hypotesene $H5$, $H6$, $H7$ og $H8$ er på samme form som hypotesene $H1$, $H2$, $H3$ og $H4$, men dreier seg om artefakter i stedet for sommerfugler.

$H5$ – Det er mulig å designe en billig lyspære som til tross for daglig bruk har en gjennomsnittlig levetid på minst 40 år.

$H6$ – Lyspærer bygget i henhold til det nye lyspæreprinsippet vil ved daglig bruk ha en gjennomsnittlig levetid på minst 40 år.

$H7$ – For minst 80 % av alle lyspæreeksplosjoner finnes en utløsende hendelse knyttet til at lyset slås på.

$H8$ – Mindre enn 1 % av IT-baserte hjelpemidler utviklet for eldreomsorgen anvendes kun av eldre.

Disse hypotesene er derfor av henholdsvis eksistensiell, universell, statistisk og statistisk art.

Hypotesene over refererer alle til mer enn en populasjon, men kan likevel klassifiseres som enten universelle, eksistensielle eller statistiske. Det gjelder ikke alle hypoteser. Hypotesen $H9$ består av to likeverdige underhypoteser hvorav den ene er eksistensiell og den andre er statistisk.

$H9$ – Alle sommerfuglarter har et gjennomsnittlig vingespenn på mindre enn 50 cm, og minst 30 % av alle sommerfuglarter forekommer i Afrika.

Begge underhypotesene refererer til populasjonen sommerfuglarter. Med hensyn til vår klassifisering er den altså en hybrid. Den kan imidlertid forstås som to uavhengige hypoteser som kan evalueres hver for seg. I praksis kan hybride hypoteser alltid dekomponeres i uavhengige hypoteser som kan evalueres hver for seg i henhold til om de er universelle, eksistensielle eller statistiske. I de fire neste kapitlene, som alle dreier seg om evaluering av hypoteser, vil vi derfor for enkelthets skyld anta at enhver hypotese er enten universell, eksistensiell eller statistisk.

6.4 Kan hypoteser verifiseres?

Anta at vi er av den oppfatning at avskyelige snømenn eksisterer. Vi har altså tiltro til følgende hypotese:

$H_{AvskEks}$ – Det finnes avskyelige snømenn.

Anta at vi lykkes i å fange et vesen som tilfredsstillende beskriver en avskyelig snømann. Har vi da verifisert hypotesen? I praksis er svaret ja. I teorien er det mulig å vikle seg inn i filosofiske betraktninger om at vi egentlig ikke vet noe med absolutt visshet, men det er ikke et tema for oss i denne sammenheng.

Hypotesen $H_{AvskEks}$ er eksistensiell. Det betyr at hvis vi finner et objekt eller fenomen som tilfredsstillende beskriver hypotesens beskrivelse, så er den verifisert. Å falsifisere en eksistensiell hypotese er i det generelle tilfellet umulig. Søkerommet kan være uendelig, for eksempel verdensrommet innen forklaringsvitenskap, eller mengden av mulige design innen teknologivitenskap. Selv om vi ikke finner det postulerte fenomenet på de stedene vi leter, eller får teknologi til å virke som ønsket basert på de designene vi prøver ut, betyr ikke det at fenomenet eller det ettersøkte designet ikke finnes.

Når Popper hevdet at hypoteser ikke kan verifiseres, var det universelle empiriske hypoteser i form av naturlover han hadde i tankene. Et klassisk eksempel er Einsteins masseenergilov:

$$E = mc^2$$

I naturlig språk uttrykker ligningen at for ethvert fysisk system er systemets energi E lik systemets masse m multiplisert med kvadratet av lysets hastighet i vakuum c . Som hypotese betraktet er den universell fordi den påstås å gjelde for alle fysiske systemer. Poppers poeng er at siden det finnes uendelig mange fysiske systemer, og vi kun kan sjekke et endelig antall av disse, er loven umulig å verifisere. Derimot holder det å finne ett fysisk system som ikke tilfredsstillende loven for å falsifisere den. Denne observasjonen gjelder ikke bare såkalte naturlover, den gjelder alle universelle empiriske hypoteser som påstår noe om en mengde fenomener som er uendelig eller så stor at det i praksis er umulig å sjekke alle fenomenene.

Anta at vi har etablert eksistensen av avskyelige snømenn, og at alle eksemplarene vi har undersøkt, har hatt fire fingre på hver hånd. Vi har tro på at dette gjelder generelt, og postulerer følgende hypotese:

$H_{AvskFing}$ – Avskyelige snømenn har maksimalt fire fingre på hver hånd.

Denne hypotesen er ikke verifiserbar – kun falsifiserbar. Problemet er ganske enkelt at det ikke er mulig å sjekke alle. Vi kan muligens få tak i alle nålevende, men avskyelige snømenn har kanskje eksistert i hundre tusener av år, og vi har ikke mulighet til å gå tilbake i tid. Med andre ord, vi må sjekke alle avskyelige snømenn som noen gang har eksistert for å verifisere $H_{AvskFing}$, mens det holder å finne en avskyelig snømann med fem fingre på en hånd for å falsifisere den.

På grunnlag av diskusjonen over er det fort gjort å konkludere at eksistensielle empiriske hypoteser er verifiserbare, mens universelle empiriske hypoteser kun kan falsifiseres. Men så enkelt er det ikke. For det første kan vi verifisere en universell hypotese hvis populasjonen er tilstrekkelig liten, og vi har full tilgang til å sjekke eller teste ut alle dens medlemmer. Hypotesen under kan potensielt både verifiseres og falsifiseres:

Alle kuene i fjøset på Kongsgården 1. januar neste år er av rasen norsk rødt fe.

Verifikasjon er umulig kun hvis populasjonen av fenomener er for stor eller for utilgjengelig til at det er mulig å sjekke alle. Helt analogt, følgende eksistensielle hypotese kan potensielt både verifiseres og falsifiseres:

Det finnes en svart ku i fjøset på Kongsgården 1. januar neste år.

For det andre, selv om vi i praksis kan avgjøre om noe så håndgripelig som en avskyelig snømann er en avskyelig snømann hvis vi greier å fange en, er det i andre situasjoner langt vanskeligere å konkludere. Følgende hypoteser illustrerer nettopp dette:

Det finnes liv i andre solsystemer enn vårt.

Alt liv i universet befinner seg i vårt solsystem.

Den første hypotesen er eksistensiell; den andre er universell. Å falsifisere den eksistensielle er umulig. Det er heller ikke mulig å verifisere den universelle. For å verifisere den eksistensielle og falsifisere den universelle er det tilstrekkelig å finne en livsform i et annet solsystem. Per i dag har vi ingen mulighet for å tilegne oss et håndgripelig eksemplar av en slik livsform hvis den da ikke skulle komme til oss. I fremtiden vil vi kanskje kunne skaffe indirekte bevis i betydning bevis brakt til rette via avanserte instrumenter basert på kompliserte teorier. I den grad vi fremdeles kan snakke om verifikasjon eller falsifikasjon, er det under antagelsen om at disse teoriene er riktige.

Hypotesen under er eksistensiell, men har en universell underhypotese, som igjen har en statistisk underhypotese:

Det er mulig å konstruere et kunstig menneske som kan løse enhver oppgave minst like raskt og godt som 60 % av alle mennesker.

Den lar seg ikke falsifisere fordi det finnes vilkårlig mange fundamentalt forskjellige design for en slik menneskelignende robot. Den lar seg heller ikke verifisere fordi det finnes en uendelighet av oppgaver et menneske kan løse, og det er umulig å teste alle.³

I praksis er begreper som verifikasjon og falsifikasjon ofte for sterke. En evaluering vil sjelden gi full visshet, men den kan øke eller redusere vår tiltro til en hypoteses riktighet.

Statistiske empiriske hypoteser kan i det generelle tilfellet hverken falsifiseres eller verifiseres.⁴ Problemet er at vi alltid vil mangle informasjon. En vanlig hypotese for en sekskantet terning brukt i brettspill er som følger:

Terningen gir 6 i 1/6 av kastene.

Et enkelt kast sier ingenting om denne hypotesens riktighet. Utfører vi mange kast med den samme terningen, vil den trolig gi 6 i tilnærmet 1/6 av tilfellene. Vi kan likevel aldri helt utelukke at dette skyldes tilfeldigheter, selv om sannsynligheten er aldri så liten.

³ Følgende hypotese er imidlertid falsk: *Det er mulig å konstruere et kunstig menneske som kan løse enhver oppgave.* Det lar seg nemlig bevise rent matematisk at det finnes oppgaver som ingen maskin kan løse i det generelle tilfellet. [41]

⁴ Som vi skal se nærmere på i seksjon 10.2, er det vanlig å argumentere for en statistisk hypotese ved å «falsifisere dens negasjon». Noen reell falsifikasjon er det imidlertid ikke snakk om – kun at sannsynligheten for at evalueringresultatet skyldes tilfeldigheter eller flaks, er svært lav.

Kapittel 7

Prediksjoner

Hypoteser evalueres gjerne ved hjelp av prediksjoner om utfallet av tester, undersøkelser eller eksperimenter designet spesielt for formålet. I dette kapitlet ser vi nærmere på prediksjonsbegrepet og dets anvendelser innen vitenskap.

Følgende generelle definisjon er basert på [87]:

Definisjon 7.1 En *prediksjon* er en påstand om et fremtidig forhold.

En prediksjon i det generelle tilfellet er altså en påstand om hva som vil skje, og som kan erfares, observeres eller måles på et fremtidig tidspunkt. Denne definisjonen er bred. Et værvarsel er for eksempel et utsagn om hva som kan observeres på et fremtidig tidspunkt. Det samme er profetier og spådommer. Fra definisjonene 2.13 og 7.1 følger det at en hypotese er en prediksjon i den grad den påstår noe om et fremtidig forhold, mens en prediksjon er en hypotese i den grad den er kvalifisert. Et værvarsel fra Meteorologisk institutt er kvalifisert og derfor både en prediksjon og en hypotese. Påstanden under derimot er en hypotese, men ingen prediksjon siden den ikke uttaler seg om et fremtidig forhold.

Skuddet som drepte Karl XII, ble avfyrt av en svensk soldat.

Også innenfor forskning og vitenskap brukes prediksjonsbegrepet i ulike betydninger (se [79]). I denne boka er vi opptatt av prediksjoner som et middel eller redskap for å teste eller etterprøve hypoteser. Når vi tester noe, tilsier sunn fornuft at testen må være relatert til det som testes, det vil si hypotesen, på en slik måte at utfallet potensielt kan være positivt eller negativt for testobjektet. Det innebærer at utfallet av testen må være en konsekvens av hypotesen eller dens motsats i en eller annen betydning.

I evalueringssammenheng uttrykker hypotesen en påstand om en populasjon. Prediksjoner karakteriserer forutsigelser om utfallet av tester designet for å sjekke om påstanden holder. Skal vi teste om bilmotorer av en helt ny type virker som de skal, kan vi bygge en prototype og teste ut denne. Populasjonen er i dette tilfellet bilmotorer av den nye typen. Den påståtte kvaliteten består i at motorene virker som

de skal. Hva det innebærer, må i praksis spesifiseres, men en slik spesifikasjon er irrelevant her.

En prediksjon vil være en forutsigelse om prototypens oppførsel i en konkret test, for eksempel at avfallsgassene tilfredsstillende girte miljøkrav i en test utført i henhold til en internasjonal standard. Andre tester med tilhørende prediksjoner vil være påkrevd for å evaluere prototypen med hensyn til andre forventninger.

7.1 Vitenskapelige prediksjoner

Det finnes vitenskapelige prediksjoner som er både berømte og spektakulære uten å være spesielt egnet i en evalueringssammenheng. Darwins prediksjon om langsnavlet møll på Madagaskar er et godt eksempel på dette.

Eksempel 7.1 (Darwins prediksjon om langsnavlet møll på Madagaskar). I 1862 mottok Charles Darwin (1809–1882) en pakke orkideer for sin forskning om pollinering [48]. En av disse orkideene, kjent som *Angraecum sesquipedale* og hjemmehørende på Madagaskar, overrasket Darwin ved å ha et nektarium på omtrent 30 cm. Nektaren ble kun utsondret på de nederste 3–4 cm av nektariet. Fordi denne orkideen tilhørte en gruppe orkideer som pollineres av møll, var det naturlig å tenke seg at det samme gjelder for *Angraecum sesquipedale*. Det gir følgende hypotese:

H_{Dar} – *Angraecum sesquipedale* pollineres av møll.

Med utgangspunkt i dette, samt nektariets utforming, konkluderte Darwin at på Madagaskar må det finnes møll med sugesnavler som kan bli opptil mellom ti og elleve tommer [19], og det er dette utsagnet som ofte omtales som Darwins prediksjon om møll. Litt forenklet kan vi uttrykke prediksjonen som følger:

P_{Dar} – På Madagaskar finnes en møllart med en sugesnavel på minst 25 cm.

Møllen viste seg vanskelig å finne, men i 1903, over 20 år etter Darwins død, publiserte Walter Rothschild (1868–1937) og Karl Jordan (1861–1959) [76] oppdagelsen av en ny møllart hjemmehørende på Madagaskar. Møllen, som de treffende nok kalte *Xanthopan morgani praedicta*, hadde et vingespenn på omtrent 15 cm og en snabel på rundt 30 cm. Senere har det blitt bekreftet at denne møllarten faktisk pollinerer *Angraecum sesquipedale* [97].

Darwins prediksjon er problematisk fra et evalueringsperspektiv. Prediksjonen P_{Dar} karakteriserer ingen test i vanlig forstand. Den sier ingenting om under hvilke konkrete betingelser vi i praksis kan konkludere med at den er feil. Tvert imot, P_{Dar} er eksistensiell, og som argumentert i seksjon 6.4, eksistensielle påstander lar seg i praksis ikke falsifisere når søkerommet er stort. Det er riktignok til enhver tid et endelig antall møll på Madagaskar, men å fange alle, slik at snablene deres kan måles, er i praksis umulig.

La oss i stedet designe et eksperiment som faktisk er i stand til å falsifisere H_{Dar} . Vi tar utgangspunkt hypotesen P_{Dar} forsterket med innholdet i Darwins prediksjon:

H_{Dar1} – *Angraecum sesquipedale* pollineres av en møllart med sugesnabel på minst 25 cm.

Den forsterkede hypotesen H_{Dar1} impliserer H_{Dar} . Hvis vi gjennom eksperimentet kan argumentere for hypotesen H_{Dar1} , har vi implisitt også et argument for H_{Dar} .

La oss for enkelthets skyld late som at møllarten med snabel på minst 25 cm ennå ikke er oppdaget, og at vi med dagens teknologi ønsker å utføre et eksperiment som potensielt kan falsifisere H_{Dar1} . En mulig strategi er å overvåke et tilstrekkelig stort antall orkideer døgnet rundt gjennom hele blomstringssesongen på en slik måte at hverken insekter eller planter forstyrres. Med dagens teknologi synes det naturlig å sette opp et antall minikameraer og gjøre kontinuerlig opptak, dag som natt. En mulig prediksjon blir da:

P_{Dar1} – Enten pollineres ingen av de overvåkede orkideene, eller så forekommer det en møll med sugesnabel på minst 25 cm på minst ett av opptakene.

Forskjellen mellom Darwins prediksjon og prediksjonen over er at sistnevnte uttaler seg om utfallet av et konkret, praktisk gjennomførbart eksperiment.

7.2 Antagelser

Darwins prediksjon P_{Dar} følger ikke direkte fra hypotesen H_{Dar} . For det første avhenger deduksjonen implisitt av et antall fakta, som for eksempel:

Angraecum sesquipedale forekommer på Madagaskar.

At vi implisitt baserer oss på kjente fakta og anvender fakta som ikke er listet opp eksplisitt, er en praktisk nødvendighet. Det blir for omfattende og plasskrevende å liste opp alt. Kun logikere som beviser deduksjoner, trenger full detaljering og presisjon. Deduksjonen av P_{Dar} avhenger imidlertid ikke bare av fakta, men også av utsagnet under:

A_{Dar} – Møll må ha en sugesnabel på minst 25 cm for å pollinere *Angraecum sesquipedale*.

Dette utsagnet er ikke et faktum i den betydning at det svarer til en observasjon eller et endelig antall observasjoner. Det bør i stedet forstås som en slags omliggende kunnskap hvis korrekthet vi har tiltro til og derfor antar. Deduksjonen av Darwins prediksjon er typisk for forholdet mellom en universell hypotese og dens prediksjoner. Prediksjonen følger ikke fra hypotesen alene, men fra hypotesen, fakta og et antall antagelser. Det er kun i helt spesielle tilfeller at en prediksjon følger direkte fra hypotesen som skal evalueres.

Ved evaluering av hypoteser har vi nesten alltid bruk for antagelser. Dreier prediksjonen seg om en måling eller et eksperiment, må vi som regel basere oss på omliggende teori. Interessante teorier kan aldri verifiseres en gang for alle. Vi må derfor anta deres riktighet. I praksis er dette både vanlig og nødvendig, men kan også bære galt av sted, som eksemplet under viser.

Eksempel 7.2 (Antagelse om riktigheten av Newtons gravitasjonslære). Fra og med oppdagelsen av planeten Uranus i 1781 var det klart at solsystemet har minst syv planeter. Hypotesen om at antallet planeter i solsystemet er syv, viste seg imidlertid vanskelig å forsvare. Som nevnt i eksempel 3.3 observerte man uregelmessigheter i banen til Uranus som tilsynelatende brøt med Newtons gravitasjonslære. Med utgangspunkt i disse observasjonene var det nærliggende å konkludere med at enten er Newtons gravitasjonslære feil, eller så finnes det andre legemer i solsystemet som påvirker banen til Uranus. På begynnelsen av 1800-tallet var tiltroen til Newtons lover tilnærmet absolutt, hvilket førte til hypotesen om at uregelmessighetene skyldtes en åttende planet.

Da Urbain Le Verrier i 1846 lyktes med å predikere baneparametere samt vinkeldiameter for planeten Neptun, antok han at Newtons gravitasjonslære var korrekt. Det samme gjorde han i 1859 da han formulerte hypotesen om planeten Vulkans eksistens, med tilhørende prediksjoner om hvor på himmelen den skulle befinne seg. I det første tilfellet var antagelsen om gravitasjonslærens riktighet nyttig fordi banen til Uranus lar seg beregne med Newtons gravitasjonslære. I det andre tilfellet derimot var antagelsen selve problemet. Avviket i Merkurs bane i forhold til Newtons gravitasjonslære, som var utgangspunktet for hypotesen om Vulkans eksistens, skyldtes ikke en uopptaget planet, men at Newtons gravitasjonslære ikke er tilstrekkelig for å forklare Merkurs bane. Dette er typisk for forskning i praksis. Når en hypotese falsifiseres, vil man først vurdere selve hypotesen samt antagelsene forbundet med oppsett av eksperiment eller forsøk, og det skal mye til før man går videre og setter spørsmål ved en anerkjent teori.

Som indikert over, i tillegg til å anta riktigheten av en eller flere omliggende teorier, må vi også gjøre antagelser om utstyr og omgivelse. Det kan være integriteten til data, at instrumenter er satt opp på rett måte, at apparater virker som de skal, at eksterne faktorer ikke påvirker, og så videre.

Eksempel 7.3 (Antagelser om data, intervjuobjekter og utstyr). Ved store ulykker og katastrofer vil årsaksforhold og forløp samt redningsaksjon bli gjenstand for nitid granskning og vurdering. Historiske data i form av logger, bilder, filmopptak og så videre benyttes til å teste hypoteser om hva som egentlig skjedde. Antagelser om det historiske materialets korrekthet og fullstendighet er ofte påkrevd. Følgende hypotese dukker gjerne opp i forbindelse med flykatastrofer:

Passasjerflyet eksploderte i lufta fordi det ble truffet av et missil avfyrt fra bakken.

For en slik hypotese vil man kanskje kunne predikere at missilets ferd frem til det treffer flyet, er sporbar i historiske data fra en bestemt militær overvåkingsinstallasjon. Får vi tilgang til disse dataene og de motbeviser prediksjonen, så har vi falsifisert hypotesen, men kun under den antagelse at dataene ikke ble manipulert før de ble gitt videre til oss.

Analogt hvis vi baserer oss på dybdeintervjuer av øyenvitner, eksperter, pårørende eller lignende, må vi gjøre antagelser om deres pålitelighet, fremstillingsevne og ærlighet. Hvis det var klarvær og flyet eksploderte i lav høyde, kan vi predikere at øyenvitner til eksplosjonen så missilet før det traff flyet. Hvis prediksjonen ikke stemmer, har vi falsifisert hypotesen, men kun under den antagelse at øyenvitnene var ærlige under intervjuene og missilet stort nok til å kunne observeres gitt øyenvitnenes avstand fra eksplosjonen.

At utstyret virker som det skal, er også viktig. Anvendelse av et instrument for å teste en vrakdel kan nødvendiggjøre antagelser om at instrumentet virker som det skal, og at resultatet av testen ikke påvirkes av ytre faktorer.

7.3 Prediksjoner om fortidige hendelser

Prediksjoner er utsagn om fremtidige forhold. Prediksjoner dreier seg likevel ofte om hendelser som inntraff før hypotesen ble formulert. Astronomer sjekker for eksempel hypoteser ved hjelp av prediksjoner om hendelser som fant sted milliarder av lysår tilbake i tid, og meteorologer kan teste sine værmodeller ved hjelp av prediksjoner om tidligere tiders vær basert på borekjerner fra isbreer. Slike prediksjoner er fremtidige i den betydning at de først sjekkes etter at de ble formulert (selv om de prinsipielt kunne vært sjekket før).

Dette gjelder også innenfor andre vitenskaper. En arkeolog som fremsetter en hypotese om at en nylig utgravd boplass er fra år 500, kan teste denne ved å predikere at en karbondatering utført på organisk materiale funnet på boplassen vil vise at materialet er omtrent 1500 år gammelt, og deretter sjekke om prediksjonen stemmer. Testen kunne vært utført før hypotesen ble formulert, men i så fall ville den ikke fungert som prediksjon i en forskningsmetodisk betydning (i hvert fall ikke hvis arkeologen som formulerte hypotesen, kjente resultatet).

Et tilsvarende eksempel er en historiker som postulerer at en bestemt middelaldersfyrste sto i ledtog med paven. En prediksjon for å teste denne hypotesen kan være at det finnes dokumentasjon på dette i et bestemt arkiv i Vatikanet. Igjen er det viktig at resultatet ikke er kjent på forhånd.

Også teknologivitenskapelige forskere gjør bruk av prediksjoner som refererer til allerede inntrufne hendelser. Hvis nyskapningen som skal evalueres, er et verktøy for beslutningsstøtte ved ulykker, er en mulig prediksjon på formen:

Hvis verktøyet føres med historiske data fra en allerede inntruffet ulykke, så vil rådene verktøyet gir, være nyttige for en beslutningstaker i følgende forstand [...].

De historiske dataene må være «nye» i den betydning at de ikke har påvirket eller blitt brukt ved lagning av verktøyet, men ulykken som dataene stammer fra, kan godt ha inntruffet lenge før arbeidet med verktøyet ble påbegynt.

7.4 Gjenbrukbare prediksjonsskjemaer for teknologivitenskap

Ved formulering av prediksjoner kan det være nyttig å ta utgangspunkt i gjenbrukbare skjemaer. Under foreslås et spesifikt skjema for hver av de ti kategoriene av evalueringsmetoder introdusert i definisjon 5.1.

Fremgangsmåte 7.1 *Gjenbrukbare skjemaer for formulering av prediksjoner:*

- gp01 – Prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse vil [...]*
- gp02 – I en eksperimentell simulering basert på oppsett vil prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]*
- gp03 – I et felteksperiment basert på oppsett vil prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]*
- gp04 – I en feltstudie av feltbeskrivelse vil prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]*
- gp05 – Datasimulering av virkelighetsutsnitt basert på oppsett vil vise at artefaktbeskrivelse [...]*
- gp06 – Matematisk argumentasjon basert på matematisk teori vil vise at artefaktbeskrivelse [...]*
- gp07 – Logisk argumentasjon basert på logikktype vil implisere at artefaktbeskrivelse [...]*
- gp08 – En spørreundersøkelse basert på oppsett utført på personell vil konkludere med at prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]*
- gp09 – Dybdeintervjuer basert på oppsett av personell vil konkludere med at prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]*
- gp10 – I et laboratorieeksperiment basert på oppsett vil artefaktbeskrivelse [...]*

Begrepene i kursiv erstattes med tekst ved bruk av skjemaene. Forekomstene av «[...]» er plassholdere for beskrivelser av artefaktbehovet eller kravene som skal tilfredsstilles.

En evaluering kan involvere ulike evalueringsmetoder, gjerne vinklet mot ulike deler av artefaktet eller artefaktbehovet. Begrepene *prototypen* og *artefaktbeskrivelse* kan derfor godt dreie seg om kun en del av prototypen eller et aspekt av artefaktbeskrivelsen. De bør derfor leses som *del av prototype* eller *prototype for en del av artefakt* og *aspekt av artefaktbeskrivelse*. Begrepet *oppsett* er typisk en referanse til et dokument som beskriver en plan eller detaljerer ulike deler av evalueringen. Analogt representerer *feltbeskrivelse*, *virkelighetsutsnitt*, *matematisk teori*, *logikktype* og *personell* avgrensninger, vinklinger, spesifikasjoner eller utvalg av henholdsvis det feltet, det fenomenet, den matematikken, den logikken eller de personene det er snakk om. En prediksjon forutsier utfallet av en fremtidig sjekk, undersøkelse, test, eksperiment og så videre. Dette reflekteres i skjemaene ved konsekvent bruk av det modale hjelpeverbet vil.

De tre neste kapitlene eksemplifiserer anvendelse av disse skjemaene innen teknologiforskning.

Kapittel 8

Evaluering av universelle hypoteser

Når ideen eller ideene dine er fruktbare, er neste trinn å evaluere nyskapningen de har resultert i med hensyn til artefaktbehovet den er ment å tilfredsstille. Vanligvis baseres evalueringen på en artefaktbeskrivelse, modell eller prototype, avhengig av hvor langt vi har kommet i forskningsprosessen.

I løpet av et teknologivitenskapelig forskningsprosjekt vil det evalueres gjentatte ganger, og intervallene mellom hver evaluering kan være korte. Noen evalueringer vil være enkle og uformelle, mens andre er krevende og medfører omfattende planlegging. Ideer vurderes og utsettes for ulike typer analyser så snart de oppstår. Noen ideer dør umiddelbart, mens andre lever en kort stund. Kun noen ideer konkretiseres eller realiseres i en slik grad at de utsettes for en detaljert evaluering.

En evaluering er naturlig nok alltid spesialisert mot den hypotesen som skal evalueres. På et overordna nivå kan vi likevel si noe om fremgangsmåten avhengig av hypotesens form og struktur. I dette og de to neste kapitlene beskriver vi overordna fremgangsmåter for evaluering av henholdsvis universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser. Vi er først og fremst opptatt av hypoteser som har overlevd tilstrekkelig lenge til å bli gjenstand for detaljert evaluering.

Det er som forklart i kapittel 6 mulig å lykkes innen teknologivitenskap uten eksplisitt å formulere hypoteser, men da må hypotesene i det minste foreligge implisitt slik at de kan genereres skjematisk fra annen dokumentasjon. At det nyskapte artefaktet tilfredsstiller artefaktbehovet, er et eksempel på en slik implisitt hypotese. Vi baserer oss på en hypoteseorientert terminologi i det følgende, men alt er like relevant for det tilfellet at hypotesene kun foreligger implisitt.

Teknologivitenskap er nær beslektet med andre vitenskaper. Det er derfor mange fellestrekk mellom evaluering innen teknologivitenskap og innen vitenskap generelt. En del av materialet om evaluering er derfor relevant for vitenskap generelt.

8.1 Fremgangsmåte ved evaluering av universelle hypoteser

Innen teknologivitenskap er en vanlig målsetning at det nye artefaktet skal kunne reproduseres vilkårlig mange ganger. Edison var for eksempel ikke ute etter å lage et enkelt lyspæreeksemplar, men å finne et generelt lyspæredesign for å kunne produsere et stort antall tilstrekkelig gode og robuste lyspærer som ikke var dyrere enn at vanlige folk kunne kjøpe dem. Videre forventes artefaktet å virke tilfredsstillende i et stort antall ulike kontekster, for eksempel for mange ulike argumenter eller parameterkonfigurasjoner. Det er ofte ønskelig at et dataprogram gir korrekt svar eller rett outputverdi for tilnærmet uendelig mange argumenter eller inputverdier. Teknologivitenskapelige hypoteser som utsettes for en detaljert evaluering, er derfor ofte universelle.

Universelle hypoteser evalueres ved testing eller utprøving av prediksjoner. Slik er det innen forklaringsvitenskap, og slik er det også innen teknologivitenskap. Prediksjonenes form avhenger av valgt evalueringsmetode samt konteksten for det hele.

En universell hypotese påstår at ethvert fenomen av en bestemt type har visse egenskaper eller kvaliteter. Den evalueres ved å teste eller prøve ut et endelig antall av disse fenomenene med hensyn til de påståtte egenskapene eller kvalitetene. En prediksjon er i denne sammenheng en påstand om utfallet av en test som potensielt kan falsifisere hypotesen. Hva en test innebærer rent konkret, avhenger av forskningsdisiplin og den aktuelle hypotesen.

En test kan være å utføre et eksperiment, foreta en undersøkelse eller gjennomføre en casestudie. Uansett testens utforming må vi vanligvis gjøre antagelser om teoriers riktighet, oppsett av utstyr, testens omgivelse og omgivelsens potensielle påvirkning av resultatet. Prediksjonen vil ta utgangspunkt i testoppsettet. Den må være en implikasjon av hypotesen, fakta og de antagelsene vi gjør bruk av. Det vil si, den må kunne avledes fra hypotesen, fakta og antagelsene i fellesskap.

Implikasjonsbegrepet er altså viktig. La oss derfor først presisere hva implikasjon egentlig innebærer.

Definisjon 8.1 En påstand er en *implikasjon* (eller impliseres) av en annen påstand hvis den (førstnevnte påstanden) følger med nødvendighet (fra den sistnevnte påstanden).

Eksempel 8.1 (Anvendelser av implikasjonsbegrepet). I eksempel 6.3 diskuterte vi europeernes 1600-talls hypotese om at alle svaner er hvite. I og med at det faktisk finnes svarte svaner, så er hypotesen falsk. Ikke desto mindre har den mange implikasjoner, som:

Alle svaner i Slottsparken er hvite.

Hvis fuglen i vollgrava er en svane, så er den hvit.

Det finnes ikke svarte svaner.

Det var denne siste implikasjonen som Willem de Vlaminghs ekspedisjon motbeviste da de utforsket en elv i Vestre Australia og observerte svarte svaner 10. januar 1697 [105].

En prediksjon for en universell hypotese er altså en implikasjon av hypotesen, antagelsene samt relevante fakta.

Definisjon 8.2 En prediksjon tilfredsstiller *implikasjonskravet for universelle hypoteser* hvis den er en implikasjon av hypotesen, antagelser og fakta i fellesskap.

Observasjoner i overensstemmelse med prediksjonen støtter hypotesen. Observasjoner som ikke overensstemmer med prediksjonen, gir grunn til å forkaste hypotesen eller så tvil om antagelsene. Fakta er saksforhold vi er tilnærmet helt sikre på. Hvis prediksjonen feiler, har vi ikke nødvendigvis motbevist hypotesen, for det kan jo også være en antagelse som ikke holder vann. På den annen side har vi vanligvis betydelig større tiltro til antagelsene enn til hypotesen som testes. Skal vi evaluere en universell hypotese, må den kunne falsifiseres her og nå og ikke kun prinsipielt. En predikasjon må derfor gjøre en forutsigelse om en konkret test, et eksperiment, en studie eller lignende som er nøye planlagt på en slik måte at hypotesen utfordres.

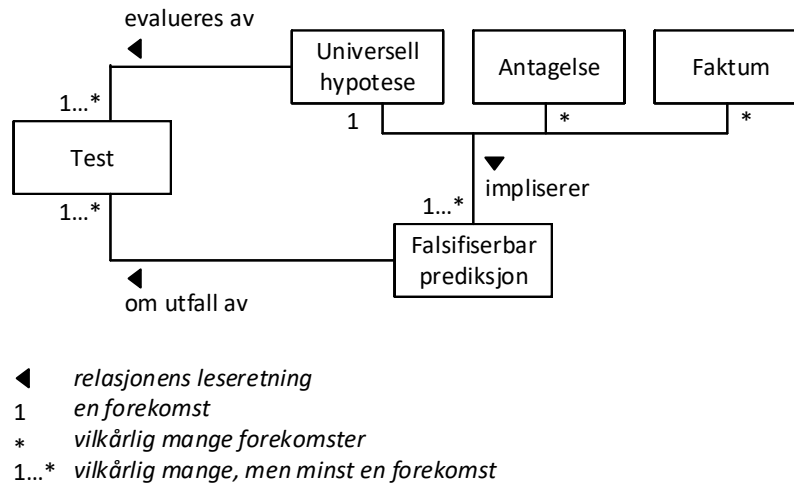
Fremgangsmåte 8.1 *Evaluering av en universell hypotese:*

1. Identifiser og design et antall tester (eksperimenter, undersøkelser, eller lignende) egnet til å utfordre hypotesen.
2. Formuler en eller flere falsifiserbare prediksjoner.
3. For hver prediksjon, sjekk at implikasjonskravet for universelle hypoteser er tilfredsstillt med hensyn til hypotesen og de antagelsene som er gjort.

Falsifiseres (minst) en prediksjon, er enten hypotesen feil, eller så er en antagelse gjort på feilaktig grunnlag. I motsatt fall økes tiltroen til hypotesen, og utfallet av testene kan brukes til å argumentere for økningen.

En interessant hypotese kan testes på mange måter – ofte uendelig mange. Vi kan kun utføre et lite antall av disse. Testene må derfor velges med omhu slik at hypotesen utfordres i størst mulig grad innenfor tilgjengelig budsjett og ramme.

Figur 8.1 illustrerer fremgangsmåte 8.1 i form av et klassediagram. Boksene og linjene representerer henholdsvis begreper og relasjoner. Pilspissene spesifiserer Leseretning. Uttrykkene * (endelig mange) og $1 \dots *$ (fra en til endelig mange – det vil si, ikke null, og ikke uendelig mange) karakteriserer antall forekomster (multiplisitet). I naturlig språk: En evaluering av en universell hypotese innebærer alltid minst en test. Den universelle hypotesen, antagelsene og fakta impliserer et antall falsifiserbare prediksjoner. Hver prediksjon gjør en forutsigelse om utfallet av en test eller et antall tester.



Figur 8.1 Evaluering av en universell hypotese.

8.2 Eksempler

I det følgende anvendes fremgangsmåte 8.1 i ti ulike eksempler. Fremgangsmåte 7.1 benyttes ved formulering av prediksjoner. Samtlige skjemaer brukes minst en gang. Hypoteser uttrykkes ved hjelp av de tre skjemaene for universelle teknologiviten- skapelige hypoteser introdusert i seksjon 6.3.1. De er oppsummert i ruten under.

Fremgangsmåte 8.2 Gjenbrukbare skjemaer for formulering av universelle, tek- nologivitenenskapelige hypoteser:

guh1 – **Ethvert artefakt bygget i henhold til artefaktbeskrivelse er/vil** [...]

guh2 – **I enhver kontekst genererer/gir artefakt/artefaktanvendelse** [...]

guh3 – **For ethvert argument genererer/gir artefakt/artefaktanvendelse** [...]

Begrepene i kursiv erstattes med tekst ved bruk av skjemaene. Forekomstene av «[...]» er plassholdere for beskrivelser av artefaktbehovet eller kravene som skal tilfredsstilles.

8.2.1 Prediksjon i forbindelse med prototyping

Prototyping går ut på å lage et eksemplar eller implementering av et design el- ler konsept, ofte forenklet, for utprøving eller testing. Innen teknologiviten- skap er

prototyping, gjerne i kombinasjon med andre evalueringsmetoder, svært utbredt. Vi kan prototype nyskapningen i sin helhet eller fokusere på en del av den, for eksempel en avgrenset komponent.

Prototyping gir gjerne opphav til prediksjoner på formen:

gp01 – *Prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse vil [...]*

Her er det ikke snakk om en hvilken som helst prototype, men den konkrete vi har bygget eller fått tilgang til, og som vi skal bruke i testen eller utprøvingen.

Eksempel 8.2 (Prototyping av Edisons lyspæredesign). Med hensyn til Edisons variant av lyspæren fra eksempel 6.3 kan det gjenbrukbare hypoteseskjemaet *guh1* fylles ut som følger:

Enhver lyspære **bygget i henhold til** Thomas Alva Edisons patent 223 898 datert 27. januar 1880 **vil** avgi et hvitt lys hvis forsynt med likestrøm.

I og med at hypotesen er universell, er det en forutsetning at patentet er tilstrekkelig detaljert til å garantere at hypotesen holder for enhver korrekt implementering. Hypotesen fokuserer kun på et aspekt av det egentlige behovet, nemlig det å avgi et hvitt lys.

Vi tester hypotesen ved å lage et eksemplar av lyspæren i overensstemmelse med patentet for deretter å sjekke om dette eksemplaret virker som det skal. I praksis er det ikke snakk om likestrøm generelt, men for eksempel likestrøm innenfor et bestemt spenningsintervall. En evaluering innebærer utprøving med hensyn til ulike spenningsnivåer basert på en testplan. Det gjenbrukbare skjemaet *gp01* gir en prediksjon på formen:

Lyspæren **bygget i henhold til** Thomas Alva Edisons patent 233 898 datert 27. januar 1880 **vil** avgi et hvitt lys hvis forsynt med likestrøm i henhold til TestPlanDok.

Falsifiseres prediksjonen, har vi falsifisert hypotesen gitt at vår implementering er i henhold til patentet. I motsatt fall har vi en indikasjon på at hypotesen er riktig.

8.2.2 Prediksjon i forbindelse med eksperimentell simulering

Som vi har vært inne på tidligere, er de ti kategoriene av evalueringsmetoder delvis overlappende. En eksperimentell simulering kan innebære en form for prototyping, men vil være mer enn en prototyping fordi omgivelsen til prototypen simuleres.

Bruk av eksperimentell simulering for å evaluere universelle hypoteser gir ofte prediksjoner på formen:

gp02 – **I en eksperimentell simulering basert på oppsett vil prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]**

Den gjenbrukbare termen *oppsett* er nødvendig fordi en prediksjon vil referere til en plan eller spesifisering for oppsett og gjennomføring av den eksperimentelle simuleringen.

Eksempel 8.3 (Eksperimentell simulering for evaluering av røykdykkerrobot). Hvordan å best mulig gjøre bruk av smart teknologi i krisesituasjoner er et aktivt forskningsfelt. Anta at en gruppe forskere har utviklet en smart (eller smartere) røykdykkerrobot og postulert følgende hypotese (basert på *guh1*):

Enhver røykdykkerrobot **bygget i henhold til** *SpekSmartereRobotDok* **vil** i gjennomsnitt lokalisere brannofre raskere enn eksisterende roboter.

For å teste denne hypotesen kan vi utføre en eksperimentell simulering hvor et gammelt industrianlegg utrustes for å simulere brann i en kjemisk fabrikk. En mulig prediksjon uttrykt i henhold til *gp02* er i så fall:

I en eksperimentell simulering basert på antennelse og røyklegging av industrianlegg, som beskrevet i *SimuleringsPlanDok*, **vil** prototypen **bygget i henhold til** *SpekSmartereRobotDok* i gjennomsnitt lokalisere brannofre raskere enn [...]

Plassholderen «[...]» erstattes med referanser til eksisterende roboter som vår robot skal sammenlignes med.

8.2.3 Prediksjon i forbindelse med felteksperiment

Etter hvert som nyskapningen modnes, er det naturlig at den testes ut under normale betingelser i sin tiltenkte omgivelse. I så fall kan vi utføre et felteksperiment. Igjen er artefaktet gjerne representert ved en prototype, men det kan også dreie seg om en full implementering. Et felteksperiment skiller seg fra en eksperimentell simulering ved at omgivelsene er reelle og ikke simulerte. Et felteksperiment innebærer, som navnet antyder, en viss form for eksperimentering. Forskerne vil typisk variere et mindre antall parametere, enten ved omgivelsene eller ved selve artefaktet. Kort oppsummert, i et felteksperiment vil forskerne først og fremst observere, men de kan manipulere eller endre parametere under eksperimentets gang.

Prediksjonsskjemaet for felteksperiment er helt analogt med skjemaet for eksperimentell simulering.

gp03 – **I et felteksperiment basert på** *oppsett vil prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse* [...]

Eksempel 8.4 (Felteksperiment for utprøving av skalerbarhet av tjenestearkitektur). Mange tilbydere av internettjenester sliter med å tilfredsstille behovet for skalerbarhet. Med skalerbarhet menes tjenestens evne til fortsatt å tilfredsstille brukernes

behov når antallet samtidige brukere øker. Det er for eksempel en kjent sak at skalerbarhet er et problem ved ekstraordinære hendelser. Mange har sikkert erfart at meldinger sendt i forbindelse med spesielle dager eller kriselignende hendelser har blitt forsinket.

Anta at en gruppe forskere har utviklet en ny IT-arkitektur som skal forbedre skalerbarheten til internettjenester. Anta videre at deres hypotese er som følger:

For enhver internettjeneste **gir** implementering basert på ny tjenestearkitektur bedre skalerbarhet.

Denne hypotesen er formulert i henhold til *guh3*. I praksis vil hypotesen være begrenset til tjenester av en bestemt type og i tillegg referere til en beskrivelse eller spesifisering av den nye arkitekturen, men det ser vi bort ifra her.

En slik hypotese kan evalueres på ulike måter, avhengig av hvor langt vi har kommet i forskningsprosessen og hvilken tiltro vi har til hypotesen. Hvis hypotesen overlever lenge nok, vil den normalt bli testet ut i et felteksperiment. Et slikt felteksperiment kan bestå i at en allerede eksisterende tjeneste reimplementeres basert på den nye arkitekturen. De to implementeringene av den samme tjenesten kan for eksempel begge tilbys online til tjenestebrukere. Brukerne vil kanskje ikke vite om det pågående felteksperimentet, men forskerne kan sammenligne de to ulike tjenestene med hensyn til hvordan de skalerer i takt med bruken. Prediksjonen de tester ut, kan være:

I et felteksperiment basert på at brukerne til enhver tid fordeles likt mellom de to implementeringene, **vil** implementeringen **bygget i henhold til** den nye tjenestearkitekturen skalere bedre enn implementeringen bygget i henhold til den gamle.

Den gjenbrukbare termen *oppsett* svarer til «at brukerne til enhver tid fordeles likt mellom de to implementeringene».

8.2.4 Prediksjon i forbindelse med feltstudie

I en feltstudie er artefaktet anvendt eller integrert i sin naturlige eller tiltenkte omgivelse, og forskernes rolle er begrenset til observasjon. En feltstudie er altså som et felteksperiment rent bortsett fra at forskerne i minst mulig grad påvirker forskningsobjektet mens studien pågår. Prediksjoner med hensyn til utfallet av feltstudien avhenger naturlig nok av feltstudienes omfang: Hva er det som skal observeres, og hvilket tidsrom er det snakk om? I skjemaet for feltstudie er *feltbeskrivelse* en plassholder for en beskrivelse av dette omfanget.

gp04 – **I en feltstudie av feltbeskrivelse vil prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse** [...]

Eksempel 8.5 (Feltstudie for nettbasert samhandlingskonsept). Institusjoner eller virksomheter av en viss størrelse bestående av enheter som fungerer rimelig godt hver for seg, men samarbeider dårlig seg imellom, er kjent som silo-orienterte organisasjoner.

Anta at en gruppe forskere har kommet opp med et nytt nettbasert samhandlingskonsept `SamHandle` tiltenkt virksomheter med en silo-orientert organisasjonsstruktur, og at deres hypotese er:

I enhver virksomhet organisert i henhold til silo-prinsippet **gir** innføring av `SamHandle` bedre samhandling på tvers av siloene.

Hypotesen er universell og i henhold til *guh2*, men i praksis lite realistisk uten en nærmere karakterisering av forutsetninger og antagelser. Dette ser vi imidlertid bort ifra her.

Vi antar at hypotesen skal evalueres i en feltstudie hos virksomheten `StorVirk`, hvis organisasjonsstruktur i utgangspunktet er silo-orientert. På grunnlag av innledende studier har forskerne kommet frem til at `SamHandle` vil virke tilnærmet optimalt etter en opplærings- og innkjøringsfase på fire uker. Med utgangspunkt i dette predikerer forskerne følgende:

I en feltstudie av daglig virksomhet hos `StorVirk` av åtte ukers varighet **vil** prototypen **bygget i henhold til** `SamHandle` tilfredsstillende forventningene etter en opplæring og innkjøringsfase på fire uker.

I praksis vil prediksjonen referere til dokumenter som detaljerer feltbeskrivelsen og forventningene til utfallet av feltstudien.

8.2.5 Prediksjon i forbindelse med datasimulering

Datasimulering er mye brukt for å teste ut eller forutsi egenskapene til artefakter. En ren datasimulering innebærer at så vel artefaktet som dets tiltenkte omgivelse modelleres av et dataprogram. Selve datasimuleringen består i at dataprogrammet utføres. Basert på resultatene fra utførelsen kan vi slutte oss til, bestemme eller forutsi artefaktets egenskaper.

Datasimulering er ofte anvendt i kombinasjon med andre evalueringsmetoder, men kan også benyttes som alenestående metode. I sistnevnte tilfelle kan følgende prediksjonsskjema være til hjelp:

gp05 – **Datasimulering av virkelighetsutsnitt basert på oppsett vil vise at artefaktbeskrivelse** [...]

Frasen *prototypen bygget i henhold til* som har forekommet i tidligere skjemaer, er mindre relevant her da metodevalget impliserer at både artefakt og aktuell del av tiltenkt omgivelse eller kontekst modelleres av et dataprogram.

Eksempel 8.6 (Datasimulering av luftmotstand). Et artefakt vil normalt ha gjennomgått mye evaluering før vi kommer så langt som til å prøve det ut i et felteksperiment eller en feltstudie – i hvert fall hvis artefaktet er kostbart å fremstille. Anta at nyskapningen er en ny form for overflatebehandling av flyskrog. I så fall er kostnadene forbundet med å lage en realistisk prototype svært store. Den vil derfor neppe bygges uten omfattende forutgående evaluering. I en slik sammenheng er datasimulering et nyttig verktøy.

Vi tar utgangspunkt i følgende hypotese basert på *guh3*:

For ethvert konvensjonelt flyskrog **gir** overflatebehandling i henhold til *ProsedyreDok* en reduksjon i luftmotstand på minst X %.

Hypotesen er universell med hensyn til populasjonen konvensjonelle flyskrog. Hva som menes med *konvensjonelle flyskrog*, lar vi stå åpent. X er en konstant – for eksempel tallet 5.

Anta at forskerne har laget et simuleringsprogram *Simul* for å forutsi luftmotstanden for ulike vindretninger og atmosfæriske forhold, og at dette er detaljert i *SimuleringsOppsettDok*. En mulig prediksjon er da:

Datasimulering av aerodynamikk basert på *SimuleringsOppsettDok* **vil vise at** *ProsedyreDok* reduserer luftmotstanden for det konvensjonelle flyskroget [...] med minst X %.

Plassholderen «[...]» representerer den aktuelle typen flyskrog som simuleringsoppsettet er vinklet mot. Det gir en prediksjon på formen over for hver type flyskrog som simuleres.

8.2.6 Prediksjon i forbindelse med matematikk

Matematikk, som vi tar for oss i det følgende, og logikk, som vi kommer tilbake til i neste seksjon, er ikke-empiriske evalueringsmetoder. De avviker i så måte fra de åtte andre metodekategoriene introdusert i definisjon 5.1. Universelle hypoteser (eksistensielle hypoteser) om uendelig store populasjoner i den sansbare virkeligheten kan aldri verifiseres (falsifiseres). Slike begrensninger gjelder ikke nødvendigvis innen matematikk og logikk.

Matematikk er selve fundamentet for all vitenskap og en nødvendig ingrediens ved mange evalueringer. Matematikk er for eksempel ofte påkrevd for å dedusere testbare prediksjoner fra en hypotese.

Ved bruk av matematikk som alenestående metode kan prediksjoner på følgende form være nyttige:

gp06 – **Matematisk argumentasjon basert på** *matematisk teori* **vil vise at** *artefaktbeskrivelse* [...]

Det finnes mange ulike typer eller varianter av matematikk, og *matematisk teori* er en plassholder for en spesifikasjon av teorien som prediksjonen baserer seg på.

Eksempel 8.7 (Bruk av matematikk for testing av algoritme). Mange matematiske funksjoner kan være svært tidkrevende, om ikke umulige, å beregne eksakt (for noen, om ikke alle argumenter). I så fall kan det være en god ide å prøve og lage et dataprogram som kalkulerer funksjonen eller i det minste gir et estimat med en viss nøyaktighet. Anta at våre forskere har laget et slikt dataprogram `EstF` for en funksjon f , og at deres hypotese er som følger:

For ethvert argument x gir `EstF` et resultat hvis maksimale avvik fra $f(x)$ er mindre enn X %.

Igjen har vi benyttet *guh3*, og igjen er X en konstant. Selv om en funksjon i det generelle tilfellet er for tidkrevende å beregne manuelt, kan en trent matematiker i noen tilfeller kalkulere eller i det minste estimere resultatet med en viss nøyaktighet for enkeltargumenter. En mulig prediksjon er i så fall:

Matematisk argumentasjon basert på konvensjonell aritmetikk vil vise at for samtlige argumenter i `InputListeDok` gir `EstF` et resultat hvis avvik fra $f(x)$ er mindre enn X %.

Dokumentet `InputListeDok` er en endelig liste av argumenter for hvilke f regnes manuelt for å teste dataprogrammet.

I stedet for å teste dataprogrammet for et utvalg av argumenter kan vi prøve å bevise det matematisk. I så fall er følgende prediksjon relevant:

Matematisk argumentasjon basert på konvensjonell aritmetikk vil vise at for ethvert argument gir `EstF` et resultat der avviket fra $f(x)$ er mindre enn X %.

De to prediksjonene er av natur ulike. For å falsifisere den første holder det å vise at `EstF` avviker fra den beregna verdien av f med minst X % for minst ett av argumentene i `InputListeDok`.

Dette er også tilstrekkelig for å falsifisere den andre prediksjonen, men i likhet med hypotesen kan den godt være falsk selv om den første prediksjonen er sann. Det er fordi `EstF` kan tilfredsstillte nøyaktighetskravet for argumentene i `InputListeDok`, men feile for minst ett av de (muligens uendelig mange) andre argumentene.

Hvis vi på den annen side lykkes i å bevise at `EstF` beregner f med et avvik på mindre enn X %, og vi har stor tiltro til bevisets riktighet, har vi i praksis verifisert hypotesen. Vi kan i teorien aldri helt utelukke at vi har gjort en feil, selv om vi og andre sjekker beviset aldri så mye, men i praksis vil vi anse hypotesen som sann.

8.2.7 Prediksjon i forbindelse med logisk argumentasjon

Logisk argumentasjon gjør vi bruk av hele tiden, innen vitenskap så vel som i det daglige liv. Logisk argumentasjon er de prinsippene vi baserer oss på når vi setter sammen argumenter for å underbygge en påstand. Disse prinsippene faller til en viss grad inn under hva som omtales som sunn fornuft. Enhver evaluering vil gjøre bruk av logisk argumentasjon. Den er limet som binder bevisførselen sammen.

I denne seksjonen er vi imidlertid opptatt av logisk argumentasjon som alenestående metode. I slik sammenheng ender vi ofte opp med prediksjoner på formen:

gp07 – **Logisk argumentasjon basert på logikktype vil implisere at artefaktbeskrivelse** [...]

Eksempel 8.8 (Logisk argumentasjon for å evaluere kravspesifikasjon). Vi har tidligere vært inne på at i mange teknologivitenskapelige prosjekter er utarbeidelse av en kravspesifikasjon, som karakteriserer artefaktbehovet i detalj, en tidlig oppgave. I så fall er kravspesifikasjonen et trinn på veien mot nyskapningen som etterstrebes. Det finnes imidlertid også forskningsprosjekter hvor selve nyskapningen er en kravspesifikasjon – med andre ord, hvor en kravspesifikasjon er artefaktet som skal leveres til oppdragsgiver.

Anta at så er tilfelle, og at en offentlig etat har gitt en gruppe forskere i oppdrag å utarbeide en detaljert kravspesifikasjon for en bestemt type redningsvest. Forskerne har ikke frie tømmer. Det finnes standarder og generelle retningslinjer som kravspesifikasjonen må ta i betraktning. Det finnes også en kostnadsramme for hvor dyre redningsvestene kan være. La oss for enkelthets skyld omtale begrensningene nedfelt av oppdragsgiver som `GitteBegrensningerDok`. Anta videre at forskningsgruppa har utarbeidet et utkast til en slik kravspesifikasjon i form av et dokument, som vi for enkelthets skyld kaller `KravTilVestDok`, og som de mener er i overensstemmelse med oppdragsgivers begrensninger. Det gir i henhold til *guh1* følgende hypotese:

Enhver implementering bygget i henhold til `KravTilVestDok` vil tilfredsstillere `GitteBegrensningerDok`.

For å teste denne hypotesen kan vi benytte logisk argumentasjon. Anta at `KravTilVestDok` og `GitteBegrensningerDok` lar seg formalisere i predikat-kalkylen. I så fall kan vi predikere:

Logisk argumentasjon basert på predikat-kalkylen vil implisere at `KravTilVestDok` tilfredsstiller `GitteBegrensningerDok`.

Predikat-kalkyle er et formelt verktøy som logikere benytter seg av. Det finnes data-verktøy som kan sjekke logiske argumenter automatisk, men i det generelle tilfellet kreves menneskelig intuisjon og tidkrevende manuelt arbeid. I praksis vil man i stedet gjerne formulere svakere prediksjoner som kun fokuserer på noen eller de viktigste begrensningene.

8.2.8 Prediksjon i forbindelse med spørreundersøkelse

Spørreundersøkelser er svært utbredt. Vanlige anvendelsesområder er kartlegging av samfunnsproblematikk, menneskers meninger eller menneskelige behov og ønsker. Spørreundersøkelser benyttes innen markedsføring for å skaffe til veie kunnskap som grunnlag for salgsstrategi, og innen politikk for å finne rett vinkling på kampanjer. Det er knapt mulig å åpne en avis uten å finne referanser til spørreundersøkelser i form av politiske galluper eller leserundersøkelser. Innen teknologiforskning brukes spørreundersøkelse blant annet for å samle erfaringer, kartlegge artefaktbehov og ikke minst evaluere i hvilken grad en prototype tilfredsstillende artefaktbehov.

Her fokuserer vi på det siste, og i en slik sammenheng kan følgende skjema være nyttig:

gp08 – **En spørreundersøkelse basert på oppsett utført på personell vil konkludere med at prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse ...**

Eksempel 8.9 (Spørreundersøkelse for evaluering av brukergrensesnitt). Anta at en gruppe forskere har kommet opp med et nytt brukergrensesnitt for smarttelefoner spesielt tilpasset eldre. Anta videre at `NyttGrensesnittDesignDok` beskriver dette grensesnittet, og at hypotesen (basert på *guh2*) er som følger:

I enhver sammenheng hvor eldre er avhengige av å bruke smarttelefon, gir grensesnitt basert på `NyttGrensesnittDesignDok` forbedret mestring.

En fremgangsmåte for å teste hypotesen er å la en større gruppe potensielle brukere prøve ut en prototype bygget i henhold til designbeskrivelsen. Brukererfaringene kan samles inn ved hjelp av en spørreundersøkelse basert på et dertil egnet spørreformular. En mulig prediksjon er i så fall:

En spørreundersøkelse basert på `SpørreOppsettDok` utført på `UtvalgEldreDok` vil konkludere med at smarttelefoner med brukergrensesnitt bygget i henhold til `NyttGrensesnittDesignDok` tilfredsstillende `MestringsForventningerDok`.

Dokumentet `SpørreOppsettDok` beskriver kontekst, gjennomføring, utvalg av eldre, spørreformular og så videre. Dokumentet `MestringsForventningerDok` karakteriserer hva det vil si at resultatene fra spørreundersøkelsen tilfredsstillende forventningene med hensyn til forbedret mestring.

8.2.9 Prediksjon i forbindelse med dybdeintervju

Dybdeintervju av brukere eller forsøkspersoner som har deltatt ved utprøving av en prototype i en feltstudie, et felteksperiment, en eksperimentell simulering eller et laboratorieeksperiment, er en vanlig fremgangsmåte ved evaluering av nye artefakter. I så fall er skjemaet under relevant:

gp09 – **Dybdeintervjuer basert på oppsett av personell vil konkludere med at prototypen bygget i henhold til artefaktbeskrivelse [...]**

Eksempel 8.10 (Dybdeintervju om helseeffekt av madrass). Anta at en gruppe forskere har utviklet en ny type madrass basert på et materiale som gjør at den egner seg spesielt godt for folk med en bestemt type rygglidelse. Deres hypotese er som følger:

For enhver pasient med den aktuelle rygglidelsen **gir** den nye typen madrass forbedret livskvalitet uten at det går ut over andre viktige egenskaper som liggekomfort, slitestyrke og brannsikkerhet.

Denne hypotesen basert på *guh3* er et godt eksempel på nødvendigheten av å kombinere ulike evalueringsmetoder. For å teste madrassens effekt på ryggplager er kliniske studier et mulig valg, mens antennbarhet kan sjekkes helt separat i et laboratorium.

Anta at vi har fått tilgang til et antall brukere med den aktuelle rygglidelsen som har prøvd ut en prototype av den nye madrassen over et lengre tidsrom, og at vi som en del av evalueringen skal utføre dybdeintervjuer med et utvalg av disse. Prediksjonen kan da uttrykkes som følger:

Dybdeintervjuer basert på IntervjuGuideDok av UtvalgMadrass-BrukereDok vil konkludere med at madrassene bygget i henhold til design basert på det nye materialet tilfredsstillter brukernes forventninger.

8.2.10 Prediksjon i forbindelse med laboratorieeksperiment

Laboratoriet er et vanlig åsted for så vel nyskappingsprosesser som evalueringer. Fordelen med et laboratorium er blant annet stor grad av kontroll med omgivelsene og faktorer som potensielt kan påvirke resultatet. Prediksjoner rettet mot evaluering av artefakter i et laboratorium kan ofte uttrykkes på formen:

gp10 – **I et laboratorieeksperiment basert på oppsett vil artefaktbeskrivelse [...]**

Eksempel 8.11 (Laboratorieeksperiment for utprøving av peilestav). Ved snøskred er peilestaver et viktig hjelpemiddel for å finne savnede personer. Anta at en gruppe forskere har utviklet et nytt peilestavdesign basert på et materiale som får peilestaven til å gli lettere gjennom snøen. Deres hypotese (basert på *guh3*) er i utgangspunktet som følger:

For enhver type skredsnø **gir** peilestaver bygget i det nye materialet mindre friksjon enn konvensjonelle peilestaver.

Igjen er det naturlig å kombinere ulike evalueringsmetoder. For å teste hypotesen i en realistisk setting kan vi få erfarne skredsøkere til å prøve ut de nye stavene i forbindelse med skredredningsøvelser. Vi kan samle inn deres erfaringer ved hjelp av dybdeintervjuer, muligens supplert med en spørreundersøkelse. Friksjon kan imidlertid også måles i et laboratorium, og i en slik sammenheng er en mulig prediksjon:

I et laboratorieeksperiment basert på OppsettFriksjonEksperimentDok **vil** peilestaver bygget i det nye materialet gi mindre friksjon for snøtypene SpekSnøTyperDok enn følgende konvensjonelle peilestaver PeileStavListeDok.

Kapittel 9

Evaluering av eksistensielle hypoteser

Eksistensielle hypoteser forekommer oftest tidlig i forskningsprosessen. Det kan være i et innledende underprosjekt som dreier seg om utprøving av ulike muligheter, eller i form av en arbeidshypotese som senere raffineres eller reformuleres i universell eller statistisk form. Av og til utsettes imidlertid også eksistensielle hypoteser for en detaljert evaluering. I dette kapitlet forklarer vi hvordan du kan gå frem i slike tilfeller.

Helt til slutt i kapitlet tar vi opp i hvilken grad en detaljert evaluering av en forfintet eller videreutvikla hypotese kan forstås som en evaluering av arbeidshypotesen som var utgangspunktet for det hele.

9.1 Fremgangsmåte ved evaluering av eksistensielle hypoteser

Skal vi argumentere for riktigheten til en hypotese som påstår at et bestemt fenomen eksisterer, eller at et spesifikt artefakt lar seg konstruere, er en vanlig og rimelig overbevisende fremgangsmåte å forsøke finne eller fremstille et slikt eksemplar. Siden *ett* eksemplar er nok, blir implikasjonskravet fra det universelle tilfellet snudd på hodet. Det er fremdeles krav om implikasjon, men hypotesen og prediksjonen bytter plass:

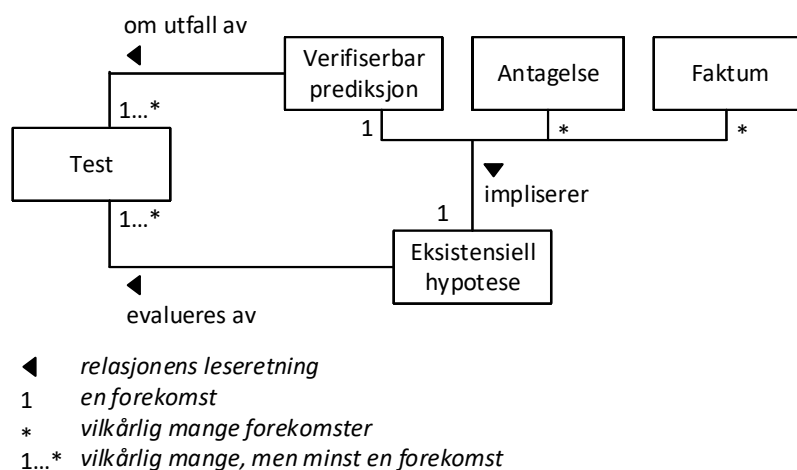
Definisjon 9.1 En prediksjon tilfredsstiller *implikasjonskravet for eksistensielle hypoteser* hvis hypotesen er en implikasjon av prediksjonen, antagelser og fakta i fellesskap.

Med andre ord, prediksjonen impliserer hypotesen gitt antagelser og fakta.

Fremgangsmåte 9.1 *Evaluering av en eksistensiell hypotese:*

1. Identifiser og design et antall tester (eksperimenter, undersøkelser og så videre) egnet til å bygge opp under hypotesen.
2. Formuler en eller flere verifiserbare prediksjoner.
3. For hver prediksjon, sjekk at implikasjonskravet for eksistensielle hypoteser er tilfredsstillt med hensyn til hypotesen og de antagelsene som er gjort.

Verifiseres (minst) en prediksjon, er hypotesen riktig, eller så er minst en antagelse feil. Tiltroen til hypotesen øker tilsvarende antagelsenes realisme, og utfallet av testene kan brukes til å argumentere for økningen. I motsatt fall reduseres tiltroen til hypotesen.



Figur 9.1 Evaluering av en eksistensiell hypotese.

Som oppsummert i figur 9.1 er testene designet for å evaluere hypotesen. Prediksjonen gjør en forutsigelse om utfallet av disse testene. Prediksjonen, antagelser og fakta i fellesskap impliserer hypotesen.

Eksempel 9.1 (Evaluering av Darwins prediksjon). Selv om P_{Dar} fra eksempel 7.1 er kjent som Darwins prediksjon, er den også en hypotese – en eksistensiell sådan. En mulig evalueringsstrategi er å utruste en ekspedisjon til Madagaskar for å lete etter møll med sugesnabler på minst 25 cm. Anta at `LetePlanDok` beskriver en nøye gjennomtenkt plan for hvordan leting skal gjennomføres. I så fall kan vi predikere:

P_{Eksp} – Minst en møll fanget ved innsamling av møll i henhold til `LetePlanDok` vil ha sugesnabel på 25 cm eller mer.

Hvis P_{Eksp} verifiseres, verifiseres også P_{Dar} . I det motsatte tilfellet har vi en indikasjon på at møll med sugesnabler på minst 25 cm ikke finnes på Madagaskar. Indikasjonens styrke avhenger av hvor omfattende og grundig letingen har vært.

Negasjonen til en eksistensiell hypotese er en universell hypotese som forklart i seksjon 6.3.2. En eksistensiell hypotese kan derfor også verifiseres ved å falsifisere dens negasjon.

Fremgangsmåte 9.2 *Indirekte evaluering av en eksistensiell hypotese:*

Å evaluere en eksistensiell hypotese indirekte innebærer å evaluere dens negasjon ved hjelp av fremgangsmåte 8.1. Falsifiseres negasjonen, har vi verifisert hypotesen som ble negert.

Om vi evaluerer en eksistensiell hypotese direkte eller indirekte, er et spørsmål om hva som er mest praktisk, og i noen tilfeller, smak og behag. Det fremheves av eksemplet under, som gjentar evalueringen fra eksempel 9.1 på den indirekte måten.

Eksempel 9.2 (Indirekte evaluering av Darwins prediksjon). Negasjonen til P_{Dar} er som følger:

P_{DarNeg} – Alle møllarter på Madagaskar har sugesnabler som er kortere enn 25 cm.

For å falsifisere en hypotese om at noe ikke finnes, må vi finne et eksemplar av dette noe, eller i det minste etablere klare indisier for at dette noe eksisterer. Med hensyn til ekspedisjonen omtalt i eksempel 9.1 kan vi predikere:

$P_{EkspNeg}$ – Alle møll fanget ved innsamling av møll i henhold til LetePlan-Dok vil ha sugesnabler som er kortere enn 25 cm.

Hvis $P_{EkspNeg}$ falsifiseres, falsifiseres også P_{DarNeg} , og da er P_{Dar} verifisert. I motsatt fall har vi indikasjoner på at slike møll ikke finnes på Madagaskar, og kan bygge opp en argumentasjon for dette. Argumentasjonens soliditet vil avhenge av leteområdets størrelse og hvor grundig man har lett.

9.2 Eksempler

Ved anvendelse av fremgangsmåte 9.1 kan det være nyttig å ta utgangspunkt i gjenbrukbare skjemaer ved formulering av hypoteser og prediksjoner. I det følgende uttrykkes hypoteser ved hjelp av skjemaet for eksistensielle teknologivitenskapelige hypoteser introdusert i seksjon 6.3.2. Det er oppsummert i ruten under.

Fremgangsmåte 9.3 *Gjenbrukbart skjema for formulering av eksistensielle, teknologivitenskapelige hypoteser:*

geh – **Det er mulig å bygge et artefakt i henhold til artefaktbeskrivelse**
[...]

Begrepene i kursiv erstattes med tekst ved bruk av skjemaene. Forekomsten av «[...]» er plassholder for beskrivelse av artefaktbehovet eller kravene som skal tilfredsstilles.

Prediksjoner uttrykkes som i det universelle tilfellet i henhold til fremgangsmåte 7.1. Siden evaluering ved konstruksjon innebærer å bygge en prototype, er de seks skjemaene som eksplisitt refererer til prototyping, spesielt nyttige. De resterende fire kan også benyttes, men de svarer til mer spesialiserte eller teoretiske studier som kan utføres med utgangspunkt i spesifikasjoner og designtegninger før man går til det kostbare skritt å bygge en realistisk prototype.

Eksempel 9.3 (Evaluering av Cayleys konsept). Cayleys ide for hvordan å konstruere en motorisert flyvemaskin (se eksempel 6.5) illustrerer på en utmerket måte utfordringene forbundet med evaluering av eksistensielle hypoteser. Cayleys forslag svarer til en eksistensiell hypotese på formen:

Det er mulig å bygge en motorisert maskin i henhold til Cayleys konsept
som kan gjennomføre kontrollerte flyvninger.

Cayley publiserte sitt design allerede i 1799. Det tok over 100 år med mislykkede forsøk før brødrene Wright i 1903 gjennomførte den første kontrollerte flyvningen med et fly inspirert av Cayleys forslag.

Tar vi utgangspunkt i Cayleys hypotese, kan prediksjonen uttrykkes i henhold til skjemaet gp02. Prototypen er da flyet som brødrene har konstruert.

I en eksperimentell simulering basert på EksperimentOppsett vil
brødrene Wrights fly bygget i henhold til Cayleys konsept gjennomføre en
vellykket kontrollert flyvning.

Hvis vi svekker forventningen til å ta av fra bakken for egen maskin, kan gp01 anvendes:

Brødrene Wrights fly bygget i henhold til Cayleys konsept vil ta av fra bakken for egen maskin.

Det er viktig å merke seg at selv om skjemaene fra fremgangsmåte 7.1 kan benyttes uavhengig av om hypotesene er universelle eller eksistensielle, så er prosessene forskjellige. I det universelle tilfellet vil en falsifisert prediksjon bety at hypotesen er falsk gitt at antagelsene holder, og at prototypen faktisk er bygget i overensstemmelse med artefaktbeskrivelsen gitt i hypotesen. I det eksistensielle tilfellet kan vi kun konkludere med at den aktuelle prototypen ikke er god nok. På den annen side,

i den grad prediksjonen viser seg å holde, kan vi i det eksistensielle tilfellet også argumentere for hypotesens riktighet, mens vi i beste fall får en positiv indikasjon i det universelle tilfellet.

Matematikk blir ofte plassert i en særstilling i forhold til andre vitenskaper på grunn av sin analytiske og ikke-empiriske natur. I en vid tolkning av artefaktbegrepet er imidlertid også matematiske bevis artefakter, og det å bevise matematiske teoremer er det samme som å oppfinne artefakter. Et svært berømt «artefakt» i så måte er beviset for Fermats siste teorem. Jakten på dette beviset viste seg å være enda mer krevende enn å bygge flyvemaskiner basert på ideen til Cayley.

Eksempel 9.4 (Fermats siste teorem). Fermats siste teorem sier at for ethvert heltall n større enn 2 er det umulig å finne positive heltall a , b og c , slik at

$$a^n + b^n = c^n$$

Dette teoremet ble første gang postulert i 1637 av den franske advokaten og matematikeren Pierre de Fermat (1601–1665) i marginen på en kopi av *Arithmetica*¹ [81]. Fermat påsto at han hadde et bevis, men at det var for stort til å få plass i den samme marginen. Denne kommentaren inspirerte et utall matematikere til å prøve å bevise teoremet. Først i 1995 var det en som lyktes, nemlig Andrew Wiles (1953).

Matematikerne som prøvde å finne et bevis i de 358 årene som gikk fra Fermats postulering til Wiles lyktes, tok alle utgangspunkt i følgende eksistensielle hypotese:

Det er mulig å bygge et matematisk bevis for et teorem uttrykt i henhold til Fermats postulering av sitt siste teorem.

Wiles greide altså å komme opp med et slikt bevis i 1995. Har dette beviset verifisert hypotesen en gang for alle? Det kan diskuteres. Det er kun et fåtall matematikere utenom Wiles som er i stand til å forstå beviset i sin helhet, og det kan ikke helt utelukkes at noen finner en feil en gang i fremtiden selv om tiltroen til beviset er høy. Matematikere er altså litt i samme situasjon som oss teknologiforskere, selv om vi lykkes i å finne opp et artefakt som tilsynelatende tilfredsstillende artefaktbehovet, kan vi ha oversett feil eller svakheter som dukker opp på et senere tidspunkt.

En eksistensiell teknologivitenskapelig hypotese kan, som vi har sett, evalueres ved gjentatt å forsøke å konstruere et artefakt basert på hypotesens prinsippl, ide eller konsept for så å teste, evaluere eller prøve ut dette artefaktet med hensyn til artefaktbehovet. Lykkes vi i å konstruere et artefakt med de rette egenskapene, er vi i mål. I motsatt fall kan vi fortsette inntil vi har brukt opp budsjettet eller mistet troen på hypotesen. En ide kan utnyttes eller raffineres på utallige måter. Det er derfor langt fra sikkert at vi kommer i mål, selv om hypotesen er riktig.

¹ En matematisk tekst forfattet av den greske matematikeren Diofantos (ca. 210–ca. 295).

9.3 Arbeidshypoteser og evaluering

Arbeidshypoteser er gjenstand for en viss testing eller utprøving som en del av ny-skapningsprosessen. En detaljert evaluering finner imidlertid først sted etter at arbeidshypotesen har blitt videreutvikla og forfinet. Evalueringen av den nye videreutvikla hypotesen kan også si noe om riktigheten til den opprinnelige arbeidshypotesen. Det krever imidlertid at den nye hypotesen er tilstrekkelig relatert til den opprinnelige. I det følgende vil vi etablere hva det vil si.

I en teknologivitenskapelig sammenheng er arbeidshypoteser som regel eksistensielle. La $ArbHyp$ betegne en slik eksistensiell arbeidshypotese. Den nye hypotesen som utsettes for en detaljert evaluering, er enten universell, eksistensiell eller statistisk. La $UniHyp$, $EksHyp$ og $StatHyp$ betegne hypoteser for hvert av disse alternativene. Vi antar at de har gjennomgått en detaljert evaluering og er relatert til $ArbHyp$ som spesifisert i tabell 9.1.

Tabell 9.1 Relasjon mellom videreutvikla hypotese og arbeidshypotese

Videreutvikla hypotese	Relasjon til $ArbHyp$
$UniHyp$	impliserer
$EksHyp$	impliserer
$StatHyp$	impliserer med høy sannsynlighet

Disse implikasjonene avhenger vanligvis av et antall antagelser, men det ser vi bort ifra her.

Siden $UniHyp$ impliserer $ArbHyp$, er en positiv evaluering av $UniHyp$ også en positiv evaluering av $ArbHyp$. På den annen side kan $ArbHyp$ godt være sann selv om $UniHyp$ er falsk, hvilket betyr at en negativ evaluering av $UniHyp$ er til liten hjelp for å si noe om $ArbHyp$ s riktighet.

Eksempel 9.5 (Immunitet mot prostatakreft). Anta at vi har en teori om at noen mennesker av genetiske årsaker ikke kan få en bestemt type kreft, for eksempel prostatakreft. Den eksistensielle arbeidshypotesen kan da være:

Det finnes en genetisk kode som gjør menn immune mot prostatakreft.

Anta videre at vi har fått finansiert et forskningsprosjekt med utgangspunkt i denne hypotesen, og at vi på et tidspunkt kommer frem til en genetisk kode som vi mistenker har den ønskede egenskapen. I så fall ønsker vi å evaluere en hypotese på formen:

Menn hvis DNA tilfredsstillter $GenKodeDok$, vil ikke utvikle prostatakreft.

Denne hypotesen er universell. Domenet er menn hvis DNA har den aktuelle koden. Den universelle hypotesen impliserer arbeidshypotesen gitt at det faktisk finnes menn med et slikt DNA. Falsifiseres den universelle hypotesen, har vi kun utelukket

ett mulig alternativ, og arbeidshypotesen kan fremdeles være riktig. På den annen side er et positivt utfall tilsvarende positivt for arbeidshypotesen.

Siden $EksHyp$ impliserer $ArbHyp$, følger det at en positiv evaluering for $EksHyp$ også er positiv for $ArbHyp$. På den annen side, en negativ evaluering for $EksHyp$ er ikke nødvendigvis negativ for $ArbHyp$, da $EksHyp$ kan stille vesentlig sterkere krav enn $ArbHyp$. Men det gir en indikasjon på at $ArbHyp$ er feil.

Eksempel 9.6 (Detaljering av hypotesen om Higgs' partikkel). I 1964 publiserte seks fysikere en matematisk modell som forklarte hvorfor elementærpartikler har masse. Denne modellen impliserte eksistensen av en inntil da uopdaget partikkel, senere omtalt som Higgs' partikkel, etter Peter Higgs (1929), som var en av disse fysikerne.

I 2012, basert på ny viten og bidrag fra andre fysikere, kunne hypotesen om Higgs-partikkelens eksistens uttrykkes som følger [72]:

H_{Higgs} – Det finnes en uopdaget partikkel med masse på mellom 114 og 140 GeV.²

Det er en vesentlig forsterkning av den opprinnelige hypotesen fra 1964 som ikke refererer til masse (rent bortsett fra av den ikke er null). Den opprinnelige hypotesen kan vi derfor tenke på som en arbeidshypotese som impliseres av den mer detaljerte hypotesen. Begge er eksistensielle. Verifikasjon av den mer detaljerte er også en verifikasjon av den opprinnelige arbeidshypotesen.

I mars 2013 offentliggjorde CERN at de hadde empiriske bevis for eksistensen av en slik partikkel [13]: «[...] den nye partikkelen ligner mer og mer på en Higgs partikkel [...]». Massen til den nye partikkelen lå på rundt 125 GeV.

Prediksjonen som de testet, var på formen:

H_{Higgs} – I et eksperiment hvor partikkelakseleratoren i CERN er konfigurert i henhold til følgende oppsett ... vil det observeres en uopdaget partikkel med masse på mellom 114 og 140 GeV.

Den er basert på et stort antall antagelser om omliggende teori samt forutsetninger for oppsett av eksperimentet.

Det statistiske tilfellet er analogt med det universelle, rent bortsett fra at implikasjonskravet har et probabilistisk element.

Eksempel 9.7 (Dataprogram for brettspillet Go). Å lage et dataprogram som kan spille Go bedre enn noe menneske, var lenge sett på som tilnærmet umulig. Det endret seg i mars 2016, da AlphaGo slo daværende verdensmester Lee Sedoul (1983) 4–1 i et spill over fem sett. Selv om de visste at det var ekstremt utfordrende, tok likevel utviklerne av AlphaGo utgangspunkt i en arbeidshypotese på omtrent følgende form:

² Måleenheten GeV står for gigaelektronvolt.

Det er mulig å lage et dataprogram som spiller Go bedre enn profesjonelle Go-spillere.

En hypotese de kunne ha postulert for å teste AlphaGo, er:

AlphaGo vinner i gjennomsnitt minst 98 % av alle spill mot topprangerte profesjonelle Go-spillere.

Denne hypotesen er statistisk. Den impliserer den eksistensielle arbeidshypotesen med høy sannsynlighet. Er evalueringen av den statistiske hypotesen positiv, vil tiltroen til arbeidshypotesen øke tilsvarende.

Følgende tabell oppsummerer diskusjonen over.

Tabell 9.2 Hva vi kan slutte oss til om arbeidshypotesen fra en evaluering av den videreutvikla hypotesen

Videreutvikla hypotese	Evalueringsresultat	Konsekvens for arbeidshypotese
UniHyp	positiv	positiv
	negativ	ingen
EksHyp	positiv	positiv
	negativ	negativ indikasjon
StatHyp	positiv	positiv
	negativ	ingen

Kapittel 10

Evaluering av statistiske hypoteser

I dette kapitlet gir vi deg en kortfattet innføring i evaluering av statistiske hypoteser med vekt på statistisk hypotesetesting. Vi vil forklare hva statistisk hypotesetesting går ut på. Deretter introduseres selve fremgangsmåten for evaluering, som så eksemplifiseres. Som tidligere benyttes gjenbrukbare skjemaer ved formulering av hypoteser og prediksjoner.

Skal du evaluere en sammensatt hypotese (se seksjon 6.3.4), må du kombinere fremgangsmåtene for universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser. Avslutningsvis tar vi opp hva det innebærer i praksis.

Denne boka er ment å favne bredt. Presentasjonen forutsetter ikke kunnskap i statistikk eller matematikk.

10.1 Kortfattet introduksjon til statistisk hypotesetesting

Statistisk hypotesetesting er fyllestgjørende beskrevet i mange lærebøker [98], [5]. Min målsetning er ikke å konkurrere med disse lærebøkene, men å synliggjøre relasjonen mellom hypoteser og prediksjoner innen statistisk hypotesetesting. Det innebærer at jeg må introdusere noen grunnleggende begreper. Den underliggende matematikken trengs imidlertid ikke og er i sin helhet utelatt.

Statistisk hypotesetesting går ut på å argumentere for en statistisk hypoteses sannhet ved å sannsynliggjøre at hypotesens negasjon, den motsatte påstanden, er falsk. Hypotesens negasjon kalles nullhypotesen. Prefikset *null* henspiller på at den representerer nulltilstanden.

Definisjon 10.1 En *nullhypotese* karakteriserer nulltilstanden, for eksempel dagens situasjon, den oppfatningen som er gjengs rådende nå, eller det som alt er mulig med eksisterende løsninger.

Hypotesen vi prøver å finne belegg for, kalles den alternative hypotesen.¹ Den representerer et alternativ til den praksisen, det synet eller den teorien som er rådende for øyeblikket.

Definisjon 10.2 En *alternativ hypotese* karakteriserer alternativet til nullhypotesen, altså det alternativet vi prøver å finne belegg for.

Eksempel 10.1 (Alternativ- og nullhypotese for en ny medisin). Anta at vi har utviklet en ny medisin for en menneskesykdom hvor 60 % blir friske ved bruk av medisiner allerede på markedet. Vi forventer at den nye medisinen er bedre i den betydning at mer enn 60 % blir friske. Det gir følgende alternative hypotese:

H_{Alt} – Kureringsraten til den nye medisinen er høyere enn 60 %.

Nullhypotesen uttrykker nøyaktig det motsatte:

H_{Null} – Kureringsraten til den nye medisinen er mindre eller lik 60 %.

En statistisk hypotese påstår noe om en populasjon. Populasjonen kan være hva som helst. Det kan være mennesker med en bestemt sykdom som i eksemplet over, hus bygget i Norge på 1950-tallet, enøyde mennesker eller blå steiner. Typisk er populasjonen stor – ofte uendelig stor. Nullhypotesen evalueres ved å predikere hva det vil si at nullhypotesen bør forkastes med utgangspunkt i innsamla data fra et (som regel lite) utvalg selektert fra den aktuelle populasjonen.

Det å feilaktig forkaste nullhypotesen (kjent som type 1-feil) anses å være verre enn feilaktig å beholde nullhypotesen når den alternative hypotesen er sann (kjent som type 2-feil). Potensielt store omkostninger forbundet med å introdusere et nytt produkt eller revidere teorier og prinsipper som avhenger av nullhypotesen, gjør at man i størst mulig grad ønsker å være på den sikre siden før nullhypotesen forkastes. Med andre ord, sannsynligheten for feilaktig å forkaste nullhypotesen må være svært liten.

Signifikansnivå karakteriserer en øvre grense for hvor stor denne sannsynligheten kan være. Det er vanlig å operere med et signifikansnivå, eller krav til statistisk signifikans, på 5 % (0,05 uttrykt som sannsynlighet). Er konsekvensen av type 1-feil stor, er kravet til signifikans sterkere – for eksempel mindre enn 1 %.

10.2 Fremgangsmåte ved evaluering av statistiske hypoteser

Implikasjonskravet for statistiske hypoteser er som i det universelle tilfellet rent bortsett fra at vi nå også har et signifikansnivå å ta hensyn til.

¹ I praksis vil man ofte postulere flere alternative hypoteser, men her begrenser vi oss for enkelthets skyld til en.

Definisjon 10.3 En prediksjon tilfredsstillter *implikasjonskravet for statistiske hypoteser* hvis hypotesen, antagelser og fakta i fellesskap impliserer at sannsynligheten for at prediksjonen feilaktig falsifiseres, er mindre enn eller lik signifikansnivået.

Hvis prediksjonen falsifiseres, er sannsynligheten for type 1-feil mindre enn eller lik signifikansnivå.

Å argumentere for den alternative hypotesen ved å sannsynliggjøre at nullhypotesen er feil, omtales ofte «feilaktig» som å falsifisere nullhypotesen. Siden vi kun har data fra et lite utvalg, kan nullhypotesen strengt tatt ikke falsifiseres. På samme måte som det faktisk er mulig å få syv rette i Lotto, kan vi være ekstremt «heldige» og oppnå statistisk signifikans på grunn av «flaks», selv om nullhypotesen er korrekt og sannsynligheten for at så skjer, er svært liten.

Fremgangsmåte 10.1 *Evaluering av en statistisk hypotese:*

1. Formuler nullhypotesen ved å negere den alternative hypotesen.
2. Bestem signifikansnivå.
3. Formuler en falsifiserbar prediksjon som tilfredsstillter implikasjonskravet for statistiske hypoteser med hensyn til nullhypotesen, de antagelsene som er gjort, og kravet til signifikans.

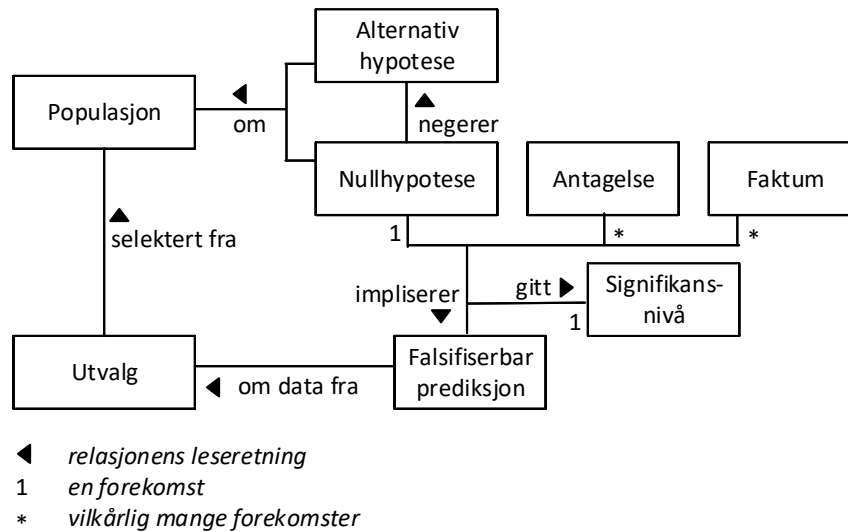
Hvis antagelsene er sanne og prediksjonen falsifiseres, gjelder ett av følgende:

- Nullhypotesen er falsk, og den alternative hypotesen er sann.
- Nullhypotesen er sann, og prediksjonen ble falsifisert ved en tilfeldighet hvis sannsynlighet er mindre eller lik kravet til signifikans.

Hvis antagelsene er sanne og prediksjonen ikke falsifiseres, gjelder ett av følgende:

- Nullhypotesen er sann, og den alternative hypotesen er falsk.
- Nullhypotesen er falsk, og den alternative hypotesen er sann, men vi har ikke lyktes i å påvise dette.

Som oppsummert i figur 10.1 negerer nullhypotesen den alternative hypotesen som vi ønsker å finne belegg for. Nullhypotesen, antagelsene og fakta i fellesskap impliserer prediksjonen gitt signifikansnivå. Prediksjonen gjør en forutsigelse med hensyn til data fra utvalget. Utvalget er selektert fra populasjonen.



Figur 10.1 Evaluering av en statistisk hypotese.

10.3 Eksempler

Ved anvendelse av fremgangsmåte 10.1 kan det være nyttig å ta utgangspunkt i gjenbrukbare skjemaer ved formulering av hypoteser og prediksjoner. I det følgende uttrykkes hypoteser ved hjelp av de to skjemaene for statistiske teknologivitenskapelige hypoteser introdusert i seksjon 6.3.3. De er oppsummert i ruten under.

Fremgangsmåte 10.2 Gjenbrukbare skjemaer for formulering av statistiske, teknologivitenskapelige hypoteser:

gsh1 – **Artefakter bygget i henhold til artefaktbeskrivelse er/vil** [...]

gsh2 – **Andelen av populasjon hvis/som** [...] **ved artefaktanvendelse er/vil** [...]

Begrepene i kursiv erstattes med tekst ved bruk av skjemaene. Forekomstene av «[...]» er plassholdere for beskrivelser av artefaktbehovet eller kravene som skal tilfredsstilles.

Ved formulering av prediksjoner benytter vi skjemaene fra fremgangsmåte 7.1. Begrenser vi oss til statistisk hypotesetesting, er skjemaene *gp01*, *gp02*, *gp03*, *gp05*, *gp08* og *gp10* de mest nyttige. Skjemaene *gp04* og *gp09* er mindre relevante siden feltstudier og dybdeintervjuer som regel er av en kvalitativ natur. Skjemaene *gp06* og *gp07* kan egne seg ved ikke-empirisk evaluering av statistiske hypoteser med utgangspunkt i statistikk eller probabilistisk logikk.

Eksempel 10.2 (Prediksjon for nullhypotese om en ny medisin). Hypotesene H_{Alt} og H_{Null} fra eksempel 10.1 reformulert i henhold til skjema *gsh2* gir:

$H_{Alt'}$ – **Andelen** av mennesker med sykdommen [...] **som** kureres **ved** bruk av den nye medisinen, **er** større enn 60 %.

$H_{Null'}$ – **Andelen** av mennesker med sykdommen [...] **som** kureres **ved** bruk av den nye medisinen, **er** mindre eller lik 60 %.

Populasjonen som kureringsraten refererer til, er mengden av mennesker med den aktuelle sykdommen. Anta at det er snakk om en vanlig sykdom, og at populasjonen er stor. Vi kan vanligvis teste den nye medisinen kun på et lite utvalg av disse – la oss si 20 personer. Med andre ord, basert på dataene vi får ved å anvende den nye medisinen på 20 personer, ønsker vi å konkludere noe om riktigheten til $H_{Alt'}$.

Med hensyn til den nye medisinen består utfordringen i å formulere en prediksjon P hvis falsifikasjon er tilstrekkelig til at vi med rimelig sikkerhet kan forkaste $H_{Null'}$. At 60 % kureres, betyr at 12 blir friske. Blir 13 friske, har vi kurerert 65 %. Anta at kravet til signifikansnivå er 5 %. Det innebærer at minst 17 må bli friske. Ved bruk av skjema *gp03* får vi følgende prediksjon:

I et felteksperiment basert på EksOppsett vil medisin bygget i henhold til KjemiskFormel kurere maksimum 16 av 20 pasienter med sykdommen [...].

Som nevnt tidligere er gjenbrukbare skjemaer først og fremst egnet til å lage et første utkast som så reformuleres i en mer intuitiv språkdrakt. Prediksjonen over kan for eksempel forenkles til:

I et eksperiment basert på EksOppsett vil medisin i henhold til KjemiskFormel kurere maksimum 16 av 20 pasienter med sykdommen [...].

Hvis prediksjonen falsifiseres, er sannsynligheten for $H_{Null'}$ mindre enn 0,05, hvilket innebærer at sannsynligheten for $H_{Alt'}$ er større eller lik 0,95 ($1 - 0,05$).

Eksempel 10.3 (Eksperimentell simulering av alarmhåndtering). Det å være i stand til å håndtere mange alarmer som utløses tilnærmet samtidig, er et stort problem i mange kontrollrom [40]. Et høyt antall samtidige alarmer er nesten like farlig som mangel på alarmer eller feilaktig alarmering. Da motoren til et av Quantas Airbus A380-fly eksploderte i luften i november 2010, ble 54 ulike alarmer utløst samtidig. Det var et langt høyere antall enn pilotene var trent til å håndtere [12]. Ved en kritisk hendelse er det viktig at alarmer utløses og presenteres på en slik måte at operatørene er i stand til å ta riktige beslutninger.

Anta at en gruppe forskere har kommet opp med et nytt prinsipp for formidling av alarmer. Det finnes mange ulike typer kontrollrom, og samme løsning er ikke nødvendigvis egnet for alle. Noen kontrollrom er små og har kun en operatør, mens andre er store og styres av et operatørlag. Det er dessuten stor forskjell på å styre en kjemisk prosess og for eksempel politioperasjoner i en storby. La oss anta at

våre forskere er opptatt av en type kontrollrom som vi for enkelhets skyld kaller KlasseK. To mulige hypoteser er i så fall:

Alarmhåndteringssystemer **bygget i henhold til** det nye alarmhåndteringsprinsippet **vil** redusere sannsynligheten for fatale operatørfeil ved alarmhåndtering i KlasseK-kontrollrom.

Andelen av operatørbeslutninger ved alarmhåndtering i KlasseK-kontrollrom **som** er feilaktige **ved** alarmhåndtering basert på det nye alarmhåndteringsprinsippet, **er** mindre enn 0,1 %.

De tilsvarende nullhypotesene er:

Alarmhåndteringssystemer **bygget i henhold til** det nye alarmhåndteringsprinsippet **vil** ikke redusere sannsynligheten for fatale operatørfeil ved alarmhåndtering i KlasseK-kontrollrom.

Andelen av operatørbeslutninger ved alarmhåndtering i KlasseK-kontrollrom **som** er feilaktige **ved** alarmhåndtering basert på det nye alarmhåndteringsprinsippet, **er** større eller lik 0,1 %.

For å teste nullhypotesene kan vi utføre eksperimentelle simuleringer ved hjelp av et kunstig kontrollrom som for anledningen er utstyrt i henhold til KlasseK-normen. Prosessene som styres fra kontrollrommet, er simulerte. Med andre ord, prosessene som styres fra kontrollrommet, er ikke reelle, men dataprogrammer som etteraper de reelle prosessenes oppførsel. Kontrollrommet er dessuten utrustet med diverse utstyr for monitorering, dokumentering og eksperimentering. Eksempler på slikt utstyr er kameraer, blikksporingsensorer (ofte omtalt som *eye tracking* på engelsk), lydsensorer og så videre. Ideen er å kartlegge operatørens evne til å håndtere ulike scenarioer avhengig av hvordan alarmene formidles. Operatørene kan være innleid fra en kjemisk fabrikk hvis kontrollrom er KlasseK. Mulige prediksjoner med hensyn til de to hypotesene er da:

I en eksperimentell simulering basert på EksPlan1Dok med innleide operatører i det kunstige KlasseK-kontrollrommet **vil** alarmhåndterings-systemet **bygget i henhold til** det nye alarmhåndteringsprinsippet gi minst X % fatale operatørfeil.

I en eksperimentell simulering basert på EksPlan2Dok med innleide operatører i det kunstige KlasseK-kontrollrommet **vil** alarmhåndterings-systemet **bygget i henhold til** det nye alarmhåndteringsprinsippet gi minst Y operatørfeil per Z operatørbeslutninger.

X, Y og Z er konstanter som må bestemmes med omhu gitt konteksten for det hele og kravet til signifikans.

Eksempel 10.4 (Flere anvendelser av skjemaer ved statistisk hypotesetesting). Lista under foreslår en alternativ statistisk hypotese uttrykt ved hjelp av skjemaene for statistiske hypoteser med hensyn til hvert av eksemplene 8.2, 8.3, 8.4, 8.6, 8.9 og 8.11.

- Lyspærer **bygget i henhold til** Thomas Alva Edisons patent 223 898 **vil** ha en gjennomsnittlig levetid på minst 100 timer.
- Røykdykkerroboter **bygget i henhold til** `SpekSmartereRobotDok` **vil** ha en gjennomsnittlig funksjonstid på minst 5 timer mellom påfølgende feiltilstander.
- **Andelen av** internettjenester **hvis** skalerbarhet forbedres **ved** reimplementering i henhold til ny tjenestearkitektur, **vil** være minst 80 %.
- **Andelen av** kommersielle flyvninger **hvis** flytid reduseres med minst 10 % **ved** overflatebehandling av flyskrog i henhold til `BehandlingProsedyreDok`, **vil** være minst 90 %.
- **Andelen av** eldre **hvis** opplevde mestringsfølelse øker **ved** anvendelse av smarttelefon med brukergrensesnitt basert på `NyttGrenseSnittDesignDok`, **vil** være større enn 60 %.
- Peilestaver **bygget i henhold til** design basert på nytt materiale **vil** fungere tilfredsstillende ved kontinuerlig søk i snøskred i minst 4 døgn i gjennomsnitt.

Tilsvarende nullhypoteser (de alternative hypotesenes negasjoner) er som følger:

- Lyspærer **bygget i henhold til** Thomas Alva Edisons patent 223 898 **vil** ha en gjennomsnittlig levetid på mindre enn 100 timer.
- Røykdykkerroboter **bygget i henhold til** `SpekSmartereRobotDok` **vil** ha en gjennomsnittlig funksjonstid på mindre enn 5 timer mellom påfølgende feiltilstander.
- **Andelen av** internettjenester **hvis** skalerbarhet forbedres **ved** reimplementering i henhold til ny tjenestearkitektur, **vil** være mindre enn 80 %.
- **Andelen av** kommersielle flyvninger **hvis** flytid reduseres med minst 10 % **ved** overflatebehandling av flyskrog i henhold til `BehandlingProsedyreDok`, **vil** være mindre enn 90 %.
- **Andelen av** eldre **hvis** opplevde mestringsfølelse øker **ved** anvendelse av smarttelefon med brukergrensesnitt basert på `NyttGrenseSnittDesignDok`, **vil** være mindre eller lik 60 %.
- Peilestaver **bygget i henhold til** design basert på nytt materiale **vil** fungere tilfredsstillende ved kontinuerlig søk i snøskred i mindre enn 4 døgn i gjennomsnitt.

Lista under presenterer en mulig prediksjon for hver nullhypotese i lista over. Prediksjonene er uttrykt i henhold til skjemaene fra fremgangsmåte 7.1.

- Et utvalg av Y lyspærer **bygget i henhold til** Thomas Alva Edisons patent 223 898 **vil** ha en gjennomsnittlig levetid på mindre enn Y timer.
- **I en eksperimentell simulering basert på** antenne og røyklegging av industrilegg som beskrevet i `SimuleringsPlanDok` **vil** en røykdykkerrobot **bygget i henhold til** `SpekSmartereRobotDok` ha en gjennomsnittlig funksjonstid på mindre enn Z timer mellom påfølgende feiltilstander.
- **I et felteksperiment basert på** at brukerne til enhver tid fordeles likt mellom de to implementeringene av samme internettjeneste, **vil** for utvalget T av internettjenester **bygget i henhold til** den nye tjenestearkitekturen mindre enn Z % skalere

bedre enn samme internettjeneste bygget i henhold til den gamle tjenestearkitekturen.

- **Datasimulering av sammenheng mellom flytid og aerodynamikk** for et utvalg av Y kommersielle flyvninger **basert på** `SimuleringsOppsettDok` **vil vise at** overflatebehandling av flyskrog i henhold til `BehandlingProsedyreDok` reduserer flytiden med minst 10 % for mindre enn Z %.
- **En spørreundersøkelse basert på** `SpørreOppsettDok` **utført på** `UtvalgEldreDok` **vil konkludere med at** brukergrensesnitt **bygget i henhold til** `NyttGrenseSnittDesignDok` gir økt mestringsfølelse ved bruk av smarttelefon for mindre enn Z %.
- **I et laboratorieeksperiment basert på** `EksperimentOppsettDok` hvor peilestaver utsettes for stress og slitasje tilsvarende X timers søk i skredsnø, **vil** for et utvalg av Y peilestaver designet i det nye materialet færre enn Z fungere tilfredsstillende etter testen.

10.4 Hva hvis hypotesen som skal evalueres, er sammensatt?

Noen hypoteser er sammensatte (se seksjon 6.3.4). Det medfører en dekomponering av evalueringsprosessen. Det lar seg enklest forklare ved hjelp av et eksempel. Vi tar utgangspunkt i den sammensatte hypotesen fra seksjon 6.4:

Det er mulig å konstruere et kunstig menneske som kan løse enhver oppgave minst like raskt og godt som minst 60 % av alle mennesker.

Denne hypotesen er eksistensiell, men inneholder en universell underhypotese, som igjen inneholder en statistisk underhypotese. Populasjonen for den eksistensielle er alle mulige (potensielle design av) kunstige mennesker, populasjonen for den universelle er alle mulige oppgaver, mens populasjonen for den statistiske er alle mennesker.

Å komme fra denne sammensatte hypotesen til en prediksjon vinklet mot en konkret evaluering innebærer tre trinn.

1. *Med utgangspunkt i sammensatt eksistensiell hypotese og evalueringsstrategi, etabler prediksjon som tilfredsstiller implikasjonskravet for eksistensielle hypoteser.* Anta at vi etter mye strev har kommet frem til et robotdesign `KunstigMenneskeDesign` og ønsker å sjekke om det holder mål. Anta videre at `KunstigMenneske` er en prototype vi har laget basert på dette designet. Følgende prediksjon uttrykt i henhold til skjema *gp01* tilfredsstillende implikasjonskravet for eksistensielle hypoteser:

Roboten `KunstigMenneske` **bygget i henhold til** `KunstigMenneskeDesign` **vil** løse enhver oppgave minst like raskt og godt som minst 60 % av alle mennesker.

Prediksjonen er universell siden den påstår noe om enhver oppgave. Den inneholder den samme statistiske underhypotesen som hypotesen vi tok utgangspunkt i. Den gjør en forutsigelse siden den påstår noe om fremtiden, men den er ikke vinklet mot en konkret evaluering. Det er tross alt umulig å teste for enhver oppgave da det jo finnes uendelig mange slike. I vår forskningsmetodiske sammenheng fungerer den derfor som en hypotese som vi må identifisere evalueringsstrategi for.

2. *Med utgangspunkt i prediksjon fra trinn 1 og evalueringsstrategi, etabler prediksjon som tilfredsstillende implikasjonskravet for universelle hypoteser.* En mulig evalueringsstrategi er å utføre et endelig antall eksperimentelle simuleringer, hver rettet mot en bestemt oppgave. Med hensyn til valg av oppgave er det en uendelighet av muligheter, for eksempel å løse et kryssord, dirigere biltrafikk eller stable ved. Det er naturlig å velge ut oppgaver som vi tror vil være de mest utfordrende for roboten. Til hver oppgave svarer en prediksjon i henhold til skjema gp02:

I en eksperimentell simulering basert på SimuleringsPlanDok vil roboten KunstigMenneske bygget i henhold til KunstigMenneske-Design løse OppgaveSpekDok minst like raskt og godt som minimum 60 % av alle mennesker.

Heller ikke prediksjonene fra trinn 2 er vinklet mot detaljerte evalueringer, men kan forstås som alternative hypoteser som skal evalueres videre ved hjelp av statistisk hypotesetesting.

3. *For hver prediksjon fra trinn 2, med utgangspunkt i evalueringsstrategi, etabler prediksjon som tilfredsstillende implikasjonskravet for statistiske hypoteser.* Til hver alternativ hypotese fra trinn 2 svarer en nullhypotese på formen:

I en eksperimentell simulering basert på SimuleringsPlanDok vil roboten KunstigMenneske bygget i henhold til KunstigMenneske-Design løse OppgaveSpekDok minst like raskt og godt som færre enn 60 % av alle mennesker.

Gitt et utvalg på 20 personer og et krav til signifikans på 5 % gir hver nullhypotese opphav til en prediksjon på formen:

I en eksperimentell simulering basert på SimuleringsPlanDok vil roboten KunstigMenneske bygget i henhold til KunstigMenneske-Design løse OppgaveSpekDok minst like raskt og godt som færre enn 17 personer fra utvalget på 20.

Verifiseres minst en av disse konkrete prediksjonene, finnes det minst en oppgave hvor vi mangler tilstrekkelig grunnlag for å forkaste nullhypotesen. Det innebærer at vi heller ikke kan argumentere for den universelle prediksjonen fra trinn 2. Den eksistensielle sammensatte hypotesen er ikke falsifisert, men vi har etablert at

KunstigMenneskeDesign i sin nåværende form trolig ikke representerer en løsning.

På den annen side, falsifiseres alle de konkrete prediksjonene, er med høy grad av sannsynlighet samtlige alternative hypoteser riktige. Det innebærer at vi kan argumentere for prediksjonen fra trinn 2 med utgangspunkt i disse resultatene, samt at KunstigMenneskeDesign tilfredsstillende våre forventninger ut ifra de evalueringene vi har gjort så langt.

Proseduren eksemplifisert over er oppsummert i generalisert form under:

Fremgangsmåte 10.3 *Evaluering av en sammensatt hypotese:*

1. Anvend fremgangsmåte 8.1, 9.1 eller 10.1 på den sammensatte hypotesen avhengig av om den er universell, eksistensiell eller statistisk.
2. Gjenta trinn 1 (over) på den resulterende prediksjonen inntil den resulterende prediksjonen ikke er sammensatt.
3. Anvend fremgangsmåte 8.1, 9.1 eller 10.1 på den ikke sammensatte prediksjonen fra trinn 2 avhengig av om den er universell, eksistensiell eller statistisk.
4. Gitt resultatet fra trinn 3, konkluder om riktigheten til den sammensatte hypotesen som var utgangspunktet før trinn 1, i henhold til hvordan den ble dekomponert i trinnene over.

Kapittel 11

Kvalitetssikring

Å evaluere er krevende, og det er fort gjort å gjøre feil. Det er derfor viktig at du kvalitetssikrer. En evaluering skal ideelt sett være *gyldig* og *pålitelig*. I det følgende går vi gjennom hva det innebærer i praksis. Begrepene defineres først på et overordna nivå før de brytes ned i underbegreper. Underbegrepene fungerer som punkter i en sjekklister for kvalitetssikring.

Definisjon 11.1 En *evaluering* er *gyldig* (også kjent som *valid*) hvis den evaluerer det den er ment å evaluere.

For at en evaluering skal være gyldig, må den være pålitelig. Det innebærer at resultatet blir tilnærmet det samme hver gang evalueringen gjentas. At evalueringen er dokumentert på en slik måte at den kan gjentas, er naturlig nok en forutsetning for pålitelighet.

Definisjon 11.2 En *evaluering* er *pålitelig* (også kjent som *reliabel*) hvis den kan gjentas og gir tilnærmet samme resultat hver gang den gjentas.

En evaluering kan være pålitelig uten å være gyldig. Anta at vi ignorerer placeboeffekten ved uttesting av et nytt medikament. Placeboeffekten innebærer at forsøkspersoners forventninger til effekten av et legemiddel påvirker effekten av legemidlet. Vi er ganske enkelt så uvitende om placeboeffekten at forsøkspersonene på forhånd får vite om de får det nye legemidlet eller ikke. I så fall kan det godt være at vi observerer en positiv effekt, og at denne effekten er repeterbar uten at dette skyldes medikamentets kjemiske sammensetning. Evalueringen er i så fall pålitelig, men den er ikke gyldig fordi effekten som observeres, er placeboeffekten. Med andre ord, vi har pålitelighet, men ikke gyldighet.

Hvis evalueringen er gyldig, er den også pålitelig. Gyldighet innebærer at uttestingen er satt opp på en slik måte at vi observerer medikamentets reelle effekt. I så fall er uttestingen også pålitelig da vi med nødvendighet får tilnærmet samme resultat hver gang den gjentas.

I praksis er gyldighet og pålitelighet uoppnåelige idealer. I stedet forsøker man å estimere grad av gyldighet og grad av pålitelighet. Pålitelighet er spesielt problematisk innenfor samfunnsvitenskap. Aksjonsforskning hvor forskeren og objektet det forskes på, ikke er klart adskilt, er et godt eksempel.

I det følgende dekomponerer vi gyldighet og pålitelighet i underbegreper.

11.1 Gyldighet

Det er vanlig å dekomponere gyldighet i fire underbegreper, nemlig ekstern gyldighet, intern gyldighet, begrepsgyldighet og konklusjonsgyldighet. I det følgende tar vi for oss disse begrepene hver for seg. Vi identifiserer potensielle trusler og feilkilder for hvert underbegrep.

11.1.1 Ekstern gyldighet

Ekstern gyldighet dreier seg om evalueringens relevans ut over den spesifikke konteksten den ble utført i. Samsvarer relevansen med det forskerne påstår? Er den relevant for andre objekter, individer, fenomener og artefakter enn den eller de den involverte eller gjorde bruk av? Er resultatene av verdi i andre situasjoner og sammenhenger, til andre tider og under andre betingelser?

Definisjon 11.3 En *evaluering* er *eksternt gyldig* hvis domenet, situasjonen, konteksten og tidsaspektet som den påstås å gjelde eller være relevant for, er riktig karakterisert.

Eksempel 11.1 (Manglende ekstern gyldighet). Anta at vi har utviklet en ny metode for sikkerhetstesting av nettapplikasjoner. Anta videre at vi har gjennomført et eksperiment hvor:

- Halvparten av forsøkspersonene brukte vår metode, mens den andre halvparten brukte en markedsledende metode.
- Hver forsøksperson jobbet individuelt og hadde nøyaktig samme tid til rådighet.
- Begge gruppene testet de samme nettapplikasjonene.
- Gruppet som brukte vår metode, viste seg å score bedre med statistisk signifikans.

I og med at vi naturlig nok har tro på egen metode, er det i en slik situasjon fort gjort å bli overivrig og fremheve funnet som mer generelt enn det egentlig er. For eksempel at funnet holder for sikkerhetstestere, nettapplikasjoner og sikkerhetstrusler generelt. Det kan lett føre til ekstern ugyldighet som eksemplifisert i det følgende. For det første, var virkelig forsøkspersonene representative for sikkerhetstestere? Hvis

vi for eksempel brukte studenter som forsøkspersoner, er svaret med stor sannsynlighet *nei*. I så fall er generaliseringen til sikkerhetstestere eksternt ugyldig. For det andre, denne typen eksperimenter med mange forsøkspersoner kan fort bli svært kostbare og vanskelige å realisere. For å redusere kostnadene tvinges vi ofte til å minimere bruken av hver enkel forsøksperson. Med hensyn til ekstern gyldighet er dette problematisk da nettapplikasjoner som er så enkle at de kan testes ut i et kortvarig eksperiment, neppe er representative for nettapplikasjoner i en industriell kontekst. Analogt, det finnes et stort antall ulike sikkerhetstrusler og -scenarioer, og det er begrenset hvor mange vi kan dekke i et eksperiment. For det tredje, alt som samhandler med internett og internettbaserte løsninger, er i rivende utvikling. Det som er sikkert i dag, er ikke nødvendigvis sikkert i morgen. Med andre ord, selv om vår metode for sikkerhetstesting er bedre enn den markedsledende metoden i dag, kan det godt hende at den markedsledende metoden kommer mer til sin rett med hensyn til informasjonsteknologien om ti år.

Kort oppsummert, ekstern gyldighet dreier seg om i hvilken grad våre generaliseringer er korrekte. Mulige feilkilder inkluderer:

- *Forsøkspersoner*: Utvalg av forsøkspersoner med hensyn til kompetanse, alder, erfaring og så videre. Akademikeres ofte feilaktige generalisering ved bruk av studenter som forsøkspersoner er et godt eksempel.
- *Artefakter*: Utvalg av artefakter i form av ting, prosesser og strukturer. Anta at vi utfører en eksperimentell simulering: Er virkelig oppsettet så virkelighetstro og generelt som vi påstår?
- *Lokasjon*: Utførte vi eksperimentet på de rette stedene? Ønsker vi å måle effekten av sur nedbør på skog,¹ er en skog ved et vassdrag som blir kunstig kalka, neppe egnet.
- *Tidspunkt*: Folks oppfatninger og verden som helhet er i stadig endring. Utfallet av en spørreundersøkelse kan for eksempel lett påvirkes av hendelser som inntreffer i dagene før den gjennomføres.

11.1.2 Intern gyldighet

At en evaluering er internt gyldig, innebærer at de årsakssammenhengene eller kausale relasjonene den påstås å ha etablert, er reelle og komplette.

¹ Forskningsresultater om effekten av sur nedbør på skog ble på 1980-tallet tatt svært seriøst av den politiske ledelsen i Norge så vel som ellers i Europa. Dette er et godt eksempel på forskning hvis gyldighet ble overvurdert av samtiden [75].

Definisjon 11.4 En *relasjon* mellom to hendelser A og B er *kausal* hvis

- det er samvarians mellom A og B i betydning B inntreffer hver gang A inntreffer;
- tidsmessig inntreffer alltid A før B – det vil si at A og B er strengt ordna i tid;
- det finnes ingen plausibel alternativ forklaring på samvariansen mellom A og B .

Hvis det for eksempel konkluderes med at en bestemt helsemessig effekt skyldes bruk av et medisinsk preparat, så er dette en kausal relasjon. Intern gyldighet dreier seg om hvorvidt den påståtte kausale relasjonen er reell.

For evalueringer som er rent beskrivende i den betydning at de kun dokumenterer det som observeres uten å identifisere årsakssammenhenger, er intern gyldighet irrelevant.

Definisjon 11.5 En *evaluering* er *internt gyldig* hvis de kausale relasjonene som evalueringen påstår å ha etablert, er reelle.

Eksempel 11.2 (Manglende intern gyldighet). Vi tar utgangspunkt i eksperimentet for evaluering av sikkerhetstestingsmetoden fra eksempel 11.1. Intern gyldighet innebærer at den kausale relasjonen mellom bruk av en ny metode og bedre score er reell. Med andre ord, årsaken til den påviste effekten må være den nye metoden og ikke skjulte parametere eller utilsiktet påvirkning. Slikt kan imidlertid lett forekomme hvis vi er uforsiktlige. For det første, hvis vi ikke tar i betraktning forsøkspersonenes bakgrunn og kompetanse når de fordeles mellom gruppene, kan den ene gruppa i gjennomsnitt bli faglig mer kompetent enn den andre. I så fall er det muligens denne skjevfordelingen av kompetanse som gir bedre score for vår metode. For det andre, hvis den markedsledende metoden gjør bruk av diagrammer med farger, og vi ikke tar hensyn til i hvilken grad forsøkspersonene er fargeblinde, kan det være årsaken til at det markedsledende verktøyet scorer dårlig.

Feilkilder med hensyn til intern gyldighet er mange. Noen av de viktigste er som følger:

- *Ordning i tid:* Definisjon 11.4 krever at årsaken A finner sted før virkningen B . I noen tilfeller kan årsak og virkning forveksles. Hendelser kan ha en gjensidig forsterkende virkning slik at mer av det ene gir mer av det andre. Hvis økt reisevirksomhet fører til økt bruk av mobile løsninger og omvendt [56], hva er årsak, og hva er virkning?
- *Tredje variabel:* Forskningslitteratur omtaler gjerne årsaken som en uavhengig variabel og virkningen som en avhengig variabel fordi den avhenger av årsaken. En ofte forekommende feilkilde med hensyn til et årsaksforhold er eksistensen av en skjult årsak i form av en tredje variabel nær forbundet med den feilaktig identifiserte årsaken. Et godt eksempel på nettopp det er den positive sammenhengen

eller korrelasjonen mellom antallet kirker og antallet kriminelle hendelser i en by. Det betyr ikke at flere kirker fører til mer kriminalitet, men at antall kirker påvirkes av en tredje variabel, nemlig byens størrelse.

- *Fordeling*: Som indikert i eksempel 11.2 kan fordelingen av forsøkspersoner mellom grupper lett føre til skjevheter og feilaktige konklusjoner. Dette gjelder ikke bare for forsøkspersoner, men generelt ved fordeling av dyr, planter, artefakter, steinfragmenter og så videre mellom grupper eller mengder. Skal vi for eksempel sammenligne effekten av ulike gjødslingsprogrammer for en sort av kornslaget bygg, er det viktig at kvaliteten på såkornet er tilnærmet lik for de ulike programmene som prøves ut.
- *Ekstern hendelse*: Forsøkspersoner, men også forsøksdyr, kan lett påvirkes av eksterne hendelser. Skal vi måle i hvilken grad en meditasjonsteknikk virker beroligende, vil en naturkatastrofe i forsøkspersonenes nærområde under eksperimentets gang lett kunne påvirke resultatet.
- *Modning*: Levende vesen vil ofte endre sin oppførsel etter hvert som de eldes eller modnes. Det kan vanskeliggjøre måling og føre til feil i en studie som foregår over et lengre tidsrom. Et barns naturlige modning kan for eksempel feiltolkes som en effekt av en bestemt type behandling.
- *Gjentatt testing*: Når samme eller tilsvarende test gjentas flere ganger, kan det oppstå en læringseffekt som resulterer i målefeil. Hvis vi gjentatte ganger utsetter samme forsøksperson for en intelligenstest av samme type, vil forsøkspersonen som regel øke sin score uten at det innebærer at forsøkspersonen har blitt mer intelligent.
- *Metodepåvirkning*: Instrumentet, formularet eller mer generelt forskningsmetoden vi benytter i en evaluering, kan påvirke resultatet. Forsøkspersoner kan ubevisst endre sine tenkemåter. Instrumentets lukt, lyd eller farge kan påvirke dyrs oppførsel. I en mørk pub vil det å slå på en ekstra lampe gjøre det lettere å følge med på et parti biljard. På mikronivå kan det å slå på en lampe ødelegge hele eksperimentet.
- *Bekreftelsesfeil*: Forskere lar seg også påvirke til å finne det de tror er riktig. Det trenger ikke være bevisst,² men kan likevel føre til fundamentale feil. Gregor Johann Mendel (1822–1884) som oppdaget arvelovene, har etter sin død blitt beskyldt for å ha fått «for gode resultater». Det har ført til en omfattende litteratur helt frem til våre dager [71]. I Mendels tilfelle er problemet egentlig ikke så stort, da han jo hadde rett. Et eksempel med langt kjedeligere konsekvenser er Prosper-René Blondlots (1849–1930) oppdagelse av N-stråler i 1903, som viste seg å være en illusjon [69]. Ikke bare lurte Blondlot seg selv, i perioden 1903–1906 publiserte mer enn 100 utdannede forskere artikler om N-stråler og deres egenskaper.

Intern gyldighet er ofte problematisk, og spesielt vanskelig i evalueringer som involverer mennesker.

² Men det er mange eksempler på bevisst juks, se for eksempel [94].

11.1.3 Begrepsgyldighet

Begrepsgyldighet innebærer at vi måler det vi ønsker å måle – med andre ord, at det er samsvar mellom teoretiske begreper, konstrukter og relasjoner som forekommer i hypotesen eller teorien vi bygger på, og hvordan disse begrepene operasjonaliseres i vår evaluering.

Definisjon 11.6 En *evaluering* er *begrepsgyldig* hvis evalueringens operasjonalisering av abstrakte begreper, konstrukter og relasjoner fra omliggende teorier, hypoteser og antagelser, i form av målepunkter, indikatorer og metrikker, er riktig.

Eksempel 11.3 (Manglende begrepsgyldighet). Vi tar igjen utgangspunkt i eksempel 11.1 samt følgende hypotese:

Sikkerhetstestere er mer effektive når de bruker vår metode enn når de bruker den markedsledende metoden.

Som allerede beskrevet var utfallet av eksperimentet tilsynelatende positivt. Vi etablerte med statistisk signifikans at brukerne av vår metode hadde en høyere gjennomsnittlig score. Men hva innebærer det med hensyn til hypotesen over? Måler vår scoringsmetrikk egentlig effektivitet ved sikkerhetstesting? Det er langt fra sikkert. Hvis hver forsøksperson har kun to timer til rådighet, kan det godt være at vår metode scorer bedre fordi den er mer pedagogisk anlagt. I så fall vil forskjellen i score forsvinne eller endres hvis forsøkspersonene får mer tid til rådighet. Da har vi ikke påvist økt effektivitet, men at vår metode er lettere å lære. Det er jo i og for seg også en god ting, men det er et misforhold mellom den reelle betydningen av «mer effektive» i hypotesen og vår operasjonalisering i eksperimentet. Med andre ord, vi har ikke begrepsgyldighet.

Mulige feilkilder med hensyn til begrepsgyldighet:

- *Definering:* Enkelt sagt, skal vi kunne evaluere en hypotese, må vi ha en eksakt forståelse av hva den egentlig påstår. Vitenskapens språk er ikke så klart som mange liker å tro. Samme begrep brukes ofte på ulike måter selv innenfor samme fagfelt. Det er derfor viktig at det begrepsmessige apparatet som evalueringen baseres på, er klart og tydelig definert.
- *Interferens:* Ulike forskningsprogrammer, forsøk eller målinger kan påvirke hverandre. Ønsker vi å fastslå at endret oppførsel i skolen skyldes et nytt pedagogisk prinsipp, er det viktig at de samme skolebarna ikke samtidig utsettes for andre endringer som kan ha samme eller delvis overlappende effekt.
- *Konkretisering:* Enhver konkretisering eller realisering har innebygde svakheter. Det gjelder når vi operasjonaliserer begreper og definisjoner, og det gjelder når vi anvender metoder, og når vi gjør målinger. Skal en evaluering være begrepsgyldig, er det viktig å kunne vise at resultatet er robust. Hvis vi for eksempel

operasjonaliserer det samme begrepet på ulike, men tilnærmet ekvivalente måter, og vi får sammenfallende resultater, er det en god indikasjon.

- *Manglende bredde:* Skal vi påstå at noe virker, eller ikke virker, må det observeres i full bredde.
 - Einsteins gravitasjonslære er for eksempel ikke universell i og med at den ikke gjelder for subatomære partikler. Det lar seg ikke observere på makronivå.
 - En medisin har vanligvis ønsket effekt kun for visse doseringer. Det kan vi unngå å oppdage hvis observasjonene begrenses til et fåtall doseringer.
- *Bivirkninger:* Når vi løser et problem, kan det fort dukke opp nye problemer skapt av denne løsningen.
 - En ny medisin kan være effektiv for sykdommen den ble laget for å kurere, men ha uventede bivirkninger.
 - En sikkerhetsoppgradering av et IT-system kan fjerne visse sårbarheter, men samtidig gi opphav til nye.

En evaluering som ikke fanger opp sideeffektene, er ikke begrepsgyldighet i og med at vi kun delvis beskriver effekten av operasjonalisering.

- *Hypotesejetting:* Forsøkspersoner er ikke passive deltagere. De kan i visse situasjoner gjette seg frem til forskerens hypotese og endre sin oppførsel på grunnlag av det. Noen er ubekvemme med å bli observert. Det kan medføre at de får et svakere resultat enn de ellers ville gjort. Andre igjen legger seg mer i selen for å fremstå i et best mulig lys. Forskerne selv kan selvsagt også lett påvirke resultatet, ubevisst så vel som bevisst. Kommuniseres for eksempel hypotesen til forsøkspersoner på forhånd, kan resultatet bli et helt annet enn det ellers ville blitt.

11.1.4 Konklusjonsgyldighet

Konklusjonsgyldighet fokuserer på relasjonen mellom dataene som er samlet inn, og de konklusjonene vi trekker. Har vi dekning for konklusjonene, eller er det kun snakk om tilfeldigheter? Er vår statistiske analyse korrekt og funnene signifikante?

Definisjon 11.7 En *evaluering* er *konklusjonsgyldig* hvis konklusjonene som trekkes, er riktige med hensyn til de observasjonene som er gjort.

Eksempel 11.4 (Manglende konklusjonsgyldighet). Som beskrevet i eksempel 11.1 scoret vår metode bedre enn den markedsledende metoden med statistisk signifikans. Mangel på statistisk signifikans er en vanlig årsak til konklusjonsugyldighet, men i dette eksemplet er altså ikke det et problem. Selv om signifikansen er akseptabel, kan det likevel være statistiske grunner til å betvile konklusjonens gyldighet.

Hvis for eksempel scoremetrikken defineres med utgangspunkt i de innsamla dataene og ikke før dataene samles inn, kan metrikken bevisst eller ubevisst finjusteres på en slik måte at metoden vår kommer best ut. Er det bevisst, kaller vi det gjerne (*hypotese*)fisking. Det er nemlig alltid slik at data kan relateres på (uendelig) mange måter, og hvis antallet relasjoner som tas i betraktning, er høyt nok, vil noen av disse rent tilfeldig holde med statistisk signifikans. Generelt er det god praksis å definere metrikker og skalaer før evalueringen gjennomføres, og i hvert fall før man starter dataanalysen.

Mulige feilkilder med hensyn til konklusjonsgyldighet:

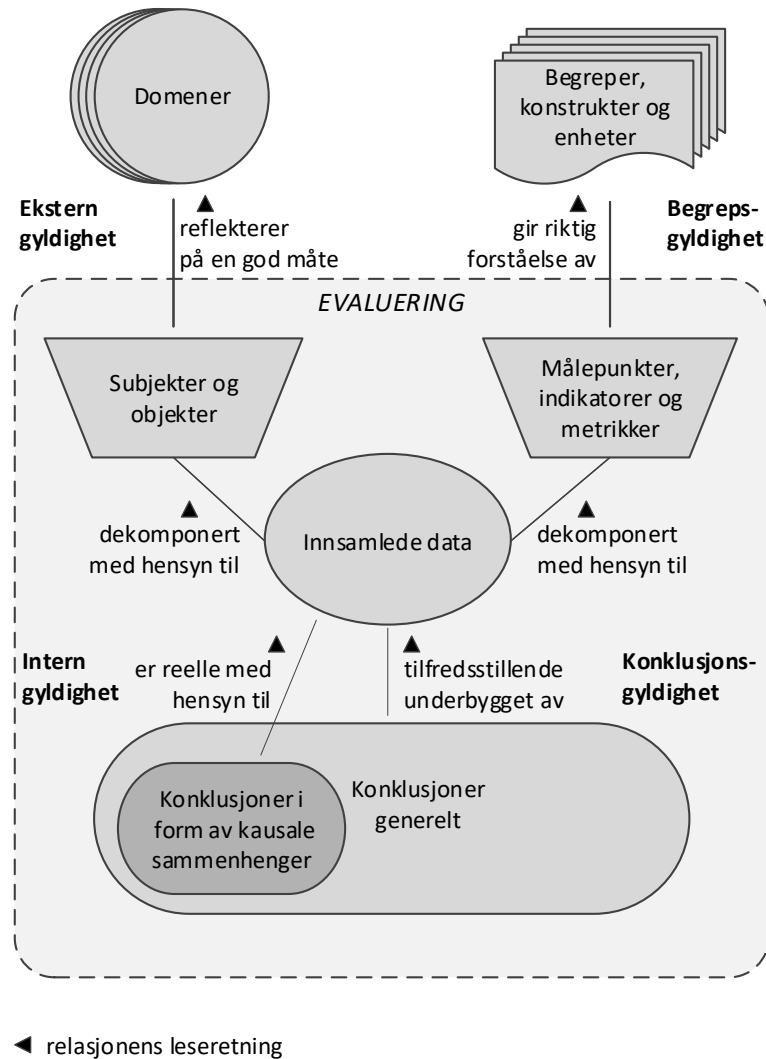
- *Nåla i høystakken*: Det er lett å overse viktige aspekter når datamengden er stor, og dataene er heterogene. I så fall kan vi feilaktig konkludere med at sammenhenger som er der, ikke finnes.
- *Fisking*: Som beskrevet i eksempel 11.4 finner vi alltid signifikante sammenhenger mellom data bare vi leter lenge nok. Det er viktig å analysere med utgangspunkt i eksplisitt uttrykte hypoteser, prediksjoner og metrikker, og å være tro mot disse.
- *Antagelser*: Enhver statistisk analyse baseres på antagelser om data, analysemetoder og sammenhengen mellom disse. Er ikke antagelsene tilfredsstillt og forholdet mellom antagelser og analysemetoder riktig, kan konklusjonene bli feilaktige.

Figur 11.1 relaterer de fire underbegrepene for gyldighet. Ekstern gyldighet og begrepsgyldighet fokuserer på den konkrete evalueringens relasjon til omverdenen. Har forsøkspersoner blitt selektert og det hele designet på en slik måte at den påståtte generaliteten kan forsvares? Er vår konkrete representasjon av begreper, konstrukter og relasjoner riktig? Oppnåelse av ekstern gyldighet så vel som begrepsgyldighet forutsetter at det generelle er representert i den konkrete evalueringen på en mest mulig korrekt måte. Dette i motsetning til intern gyldighet og konklusjonsgyldighet, som kun angår selve evalueringen. Trekker vi riktige konklusjoner med hensyn til de innsamla dataene, og i den grad vi hevder å ha funnet kausale relasjoner: Er de reelle?

11.2 Pålitelighet

En pålitelig evaluering representerer godt forskningsmessig håndverk. Den er gjennomført og dokumentert på en slik måte at vi får et tilnærmet identisk resultat ved gjentagelse. Som påpekt over er pålitelighet i streng forstand for visse typer forskning uopnåelig. Det gjelder ikke minst for svært mye forskning rundt sosiale strukturer.

Pålitelighet kan i likhet med gyldighet dekomponeres i fire underbegreper, nemlig inter-observatør-pålitelighet, intern-konsistens-pålitelighet, parallelle-metoder-pålitelighet og test-retest-pålitelighet.

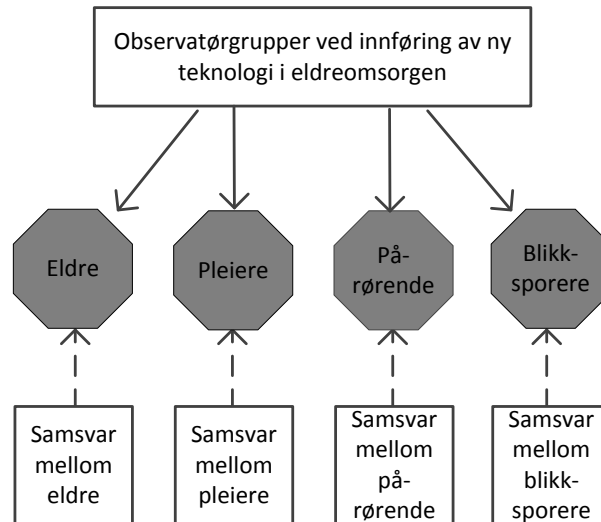


Figur 11.1 Sammenheng mellom gyldighetsbegreper.

En evaluering innebærer vanligvis at det verdisettes i form av kvaliteter, vurderinger, estimater og målinger, og det er på grunnlag av hvordan dette gjøres at vi kan si noe om evalueringens helhetlige pålitelighet. Verdisetting kan være så mangt. Visse kan kun utføres med avanserte instrumenter, mens andre baserer seg på enkle tester, eller spørreformularer. Hvis verdisettingene som inngår i en evaluering, ikke er pålitelige, er normalt heller ikke evalueringen pålitelig, og omvendt.

Når vi i denne boka bruker begrepet *pålitelighet*, er det altså i betydning av «pålitelighet med hensyn til verdisetting» og ikke i den mer generelle tolkningen «sys-

tempålitelighet», hvor et system sies å være pålitelig hvis det er sikkert, trygt, robust, tilgjengelig og så videre. Med andre ord, selv om vi er innforstått med viktigheten av at en evaluering er trygg slik at hverken deltagere, forskere eller miljø skades, samt at for eksempel personvernet ivaretas, er ikke dette tema for denne boka.



Figur 11.2 Inter-observatør-pålitelighet.

De fire underbegrepene for pålitelighet lar seg enklest forstå som kvalitetskriterier vi streber etter å tilfredsstille.

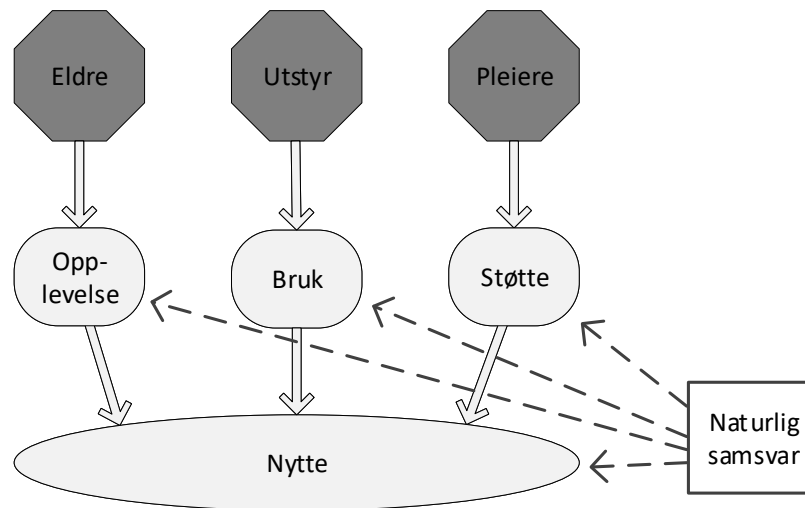
11.2.1 Inter-observatør-pålitelighet

Inter-observatør-pålitelighet dreier seg om i hvilken grad observatørens observasjoner, vurderinger og estimer samsvarer. Observatørene kan være mennesker, de kan også være dyr, eller for eksempel sensorer. En evaluering vil ofte gjøre bruk av observatører i ulike sammenhenger. Som figur 11.2 illustrerer, når ny teknologi skal prøves ut i eldreomsorgen, er det nyttig med en observatørgruppe av eldre for å samle erfaringer fra deres ståsted, mens observatørgrupper av pleiere og pårørende representerer andre synsvinkler. I tillegg kan de eldre for eksempel utrustes med blikksporere (på engelsk *eye trackers*) for å dokumentere i hvilken grad de eldre fester blikket på de rette tingene i rett rekkefølge. Med andre ord, en evaluering kan involvere mange observatørgrupper. Begrepet inter-observatør-pålitelighet dreier seg om i hvilken grad det er samsvar mellom observatørene innad i hver observatørgruppe.

Definisjon 11.8 En evaluering er *inter-observatør-pålitelig* hvis det er samsvar mellom observasjonene (vurderingene/estimeringene) innad i evalueringens observatørgrupper.

Eksempel 11.5 (Manglende inter-observatør-pålitelighet). Vi tar igjen utgangspunkt i metoden for sikkerhetstesting av nettapplikasjoner og eksperimentet beskrevet i eksempel 11.1. Siden vi benytter to grupper av forsøkspersoner, er det interessant å se nærmere på inter-observatør-pålitelighet. Som nevnt scoret vårt verktøy bedre med statistisk signifikans. Hvis spredningen av score innad i gruppene er liten, er det et godt tegn med hensyn til resultatets pålitelighet. På den annen side, hvis spredningen av scoren for vår metode er liten, mens forsøkspersonene i den andre gruppa greide nesten alt eller nesten ingenting, er det grunn til bekymring. Det kan tyde på at det finnes en slags terskel i form av misforståelse eller feil i vårt oppsett som fører til forvirring rundt bruken av den kommersielle metoden.

11.2.2 Intern-konsistens-pålitelighet



Figur 11.3 Intern-konsistens-pålitelighet.

En verdisetning (vurdering/estimering/måling) er ofte delt opp i et antall ledd. Intern-konsistens-pålitelighet dreier seg om det er en fornuftig gjensidig korrelasjon eller samsvar mellom disse leddene, og mellom hvert ledd og verdisetningen som helhet. Figur 11.3 illustrerer verdisetning basert på tre ledd fra hver sin observatørgruppe.

Det er naturlig å forvente en positiv korrelasjon mellom brukeropplevelse, riktig bruk og god støtte. Videre bør bedre brukeropplevelse, riktigere bruk og mer støtte føre til økt nytte.

Definisjon 11.9 En *evaluering* er *intern-konsistens-pålitelig* hvis det er et naturlig samsvar mellom verdisettingsledd, og mellom verdisettingsledd og verdisettingen som de inngår i.

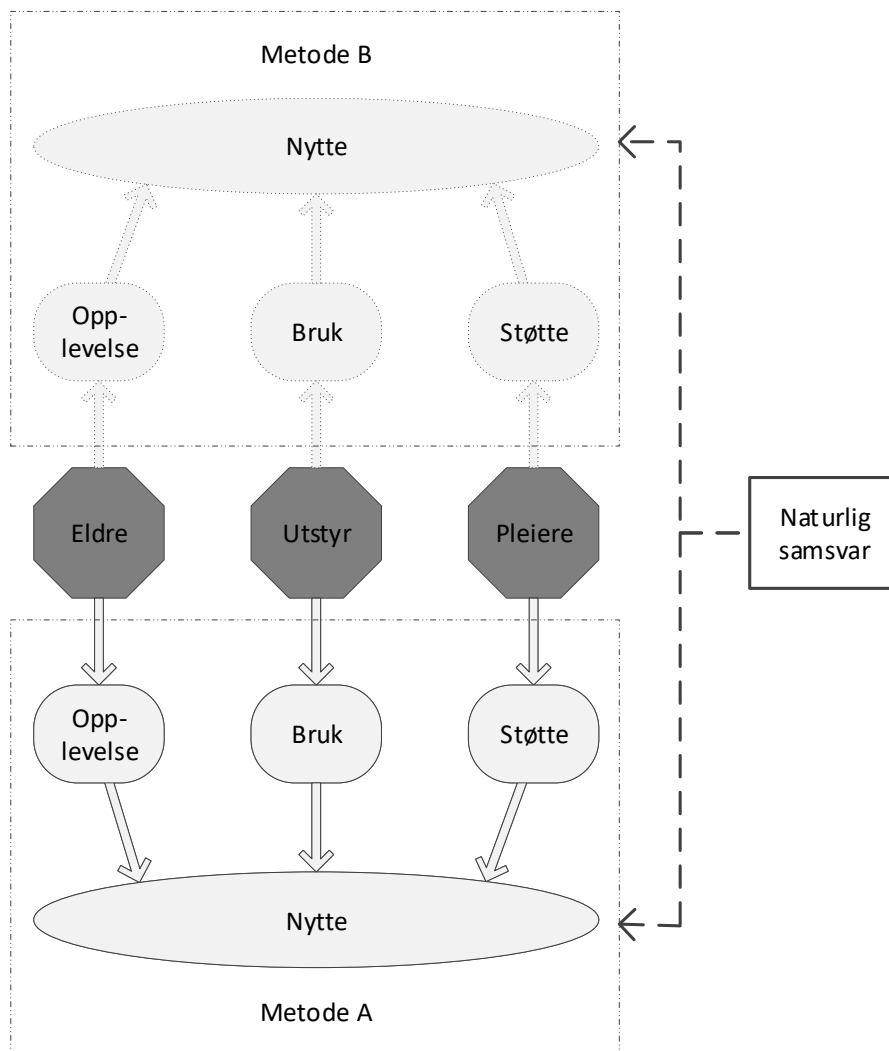
Eksempel 11.6 (Manglende intern-konsistens-pålitelighet). Igjen tar vi utgangspunkt i metodene for sikkerhetstesting. La oss anta at hver forsøksperson fyller ut et spørreformular om metodens brukervennlighet samt at vi måler brukervennlighet for hver enkelt forsøksperson basert på utfylt formular og score i eksperimentet. Hvis korrelasjonen mellom svar i formular og score er svak, er det trolig noe som ikke har fungert. Har vi designet formularet feil? Har forsøkspersonene tatt lett på formularet? Er scoremetrikken velfundert?

11.2.3 Parallell-metoder-pålitelighet

En parallell metode kan være så mangt. Et spørreformular kan for eksempel varieres på utallige måter. Vi kan endre rekkefølgen på spørsmål, reformulere spørsmål uten at betydningen endres, og så videre. Er spørreundersøkelsen parallell-metoder-pålitelig, vil vi få et tilnærmet identisk resultat hvis vi gjentar undersøkelsen med en ekvivalent variant av det samme formularet. Andre verdisettingsmetoder kan selvsagt også varieres. Den tilbakelagte distansen til en forsøksperson kan måles med GPS, skritteller eller distansehjul. Figur 11.4 er en utvidelse av figur 11.3 med en variant av eller alternativ til den opprinnelige verdisettingen for å sjekke parallell-metoder-pålitelighet.

Definisjon 11.10 En *evaluering* er *parallell-metoder-pålitelig* hvis den gir et tilnærmet identisk resultat hvis en verdisettingsmetode erstattes med en variant av den samme verdisettingsmetoden.

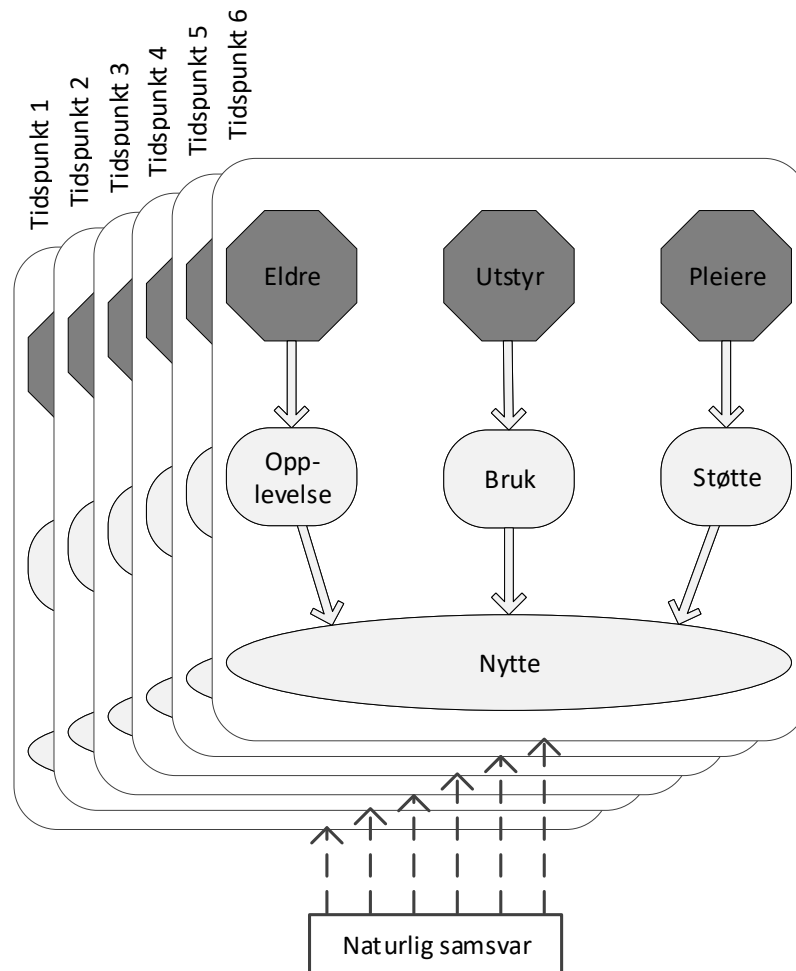
Eksempel 11.7 (Manglende parallell-metoder-pålitelighet). Hvis, som indikert i eksempel 11.1, vår metode er bedre enn den markedsledende metoden, innebærer parallell-metoder-pålitelighet at resultatet bekreftes hvis vi utfører det samme eksperimentet med de samme forsøkspersonene på en ekvivalent måte. En mulighet er å basere det nye eksperimentet på andre nettapplikasjoner som fra et testeperspektiv er ekvivalente. Gitt at forsøkspersonene tar like seriøst på begge oppgavene, vil et manglende sammenfall mellom resultatene så tvil om det opprinnelige resultatets pålitelighet.



Figur 11.4 Parallell-metoder-pålitelighet.

11.2.4 Test-retest-pålitelighet

Med hensyn til repeterbarhet er det viktig å skille mellom verdisetting av parametre som er tidsuavhengige (konstante med hensyn til tidspunkt), og parametre som er tidsavhengige (funksjon av tidspunkt). Hvis vi for eksempel måler volumet til en menneskeskalle, så forventer vi at en pålitelig måling gir tilnærmet samme resultat hvis målingen gjentas om 100 år (gitt at menneskeskallen ikke skades i mel-



Figur 11.5 Test-retest-pålitelighet.

lomtiden). Med andre ord, en pålitelig måling av en tidsuavhengig parameter må kunne gjentas på et senere tidspunkt med tilnærmet identisk resultat. Test-retest-pålitelighet karakteriserer i hvilken grad verdissetingene er tidsuavhengige (som vist i 11.5).

Definisjon 11.11 En *evaluering* er *test-retest-pålitelig* hvis resultatet blir tilnærmet det samme hver gang den gjentas.

På den annen side, hvis vi estimerer antallet mennesker på jorda, som vi vet er en funksjon av tidspunkt for estimeringen, vil en pålitelig metode med stor sannsyn-

lighet gi et helt annet svar om 100 år enn i dag. Hvis hypotesen eller prediksjonen som evalueres, karakteriserer antallet mennesker som en funksjon av tidspunkt, er test-retest-pålitelighet likevel relevant. I motsatt fall må vi kanskje bytte metode ved estimering på et senere tidspunkt. Skal vi estimere antallet reinsdyr på Dovrefjell for årets sommersesong, er telling fra fly en mulighet. Skal vi kontrollere årets telling til neste år, må vi bruke en annen metode i og med at det er årets sommersesong vi er opptatt av. Vi kan gjøre et estimat på grunnlag av en tilsvarende telling neste sommer, men da er metoden en annen i og med at vi ikke teller direkte.

Eksempel 11.8 (Manglende test-retest-pålitelighet). For eksperimentet i eksempel 11.1 som skal evaluere metoden for sikkerhetstesting av nettapplikasjoner, er det naturlig å forvente høy grad av test-retest-pålitelighet. Lav test-retest-pålitelighet er likevel mulig hvis antallet forsøkspersoner er lavt, hvis forsøkspersonene ikke tar eksperimentet på alvor, eller hvis forsøkspersonene er skjevt fordelt kompetansemessig.

Kapittel 12

Publisering

Publisering er en viktig del av all vitenskap. Det finnes mange ulike former for publisering. Fremgangsmåten ved fremstilling av en publikasjon avhenger blant annet av innhold, publiseringskanal og formål. En publikasjon er ikke nødvendigvis skriftlig. Noen ganger er det mer formålstjenlig å lage en film enn å skrive en artikkel. I denne boka begrenser vi oss imidlertid til skriftlig publisering. En teknologivitenskapelig publikasjon kjennetegnes ved at den vier stor plass til å beskrive nyskapningen – det nye artefaktet som forskningen har resultert i.

Dette kapitlet er innholdsmessig delt i to. Første del gir oversikt over ulike skriftlige publikasjonsformer. I andre del tar vi opp ansvars- og redelighetsproblematikk knyttet til publisering og gjenbruk av eget materiale, også kjent som selvplagiat. Publiseringstematikken følges opp i kapittel 13, hvor vi går gjennom de sentrale elementene i en teknologivitenskapelig artikkel og gir råd med hensyn til selve skrivingen.

12.1 Valg av publikasjon

Hvilken publiseringskanal vi bør velge, avhenger blant annet av forskningens kvalitet, hvor vi er i forskningsprosessen, hva slags forskning det er snakk om, samt vår egen og eventuelle medforfatteres kompetanse og erfaring. Er det mangel på erfaring, er det som regel lurt å begynne med noe som ikke er altfor krevende. I det følgende har vi ordna de ulike publikasjonsformene ut ifra en vurdering av hvor vanskelig det er å få til et tilfredsstillende, men ikke nødvendigvis fremragende, resultat. La oss begynne med det som kanskje er lettest, nemlig en vitenskapelig poster.

12.1.1 Vitenskapelig poster

En poster egner seg spesielt godt for publisering av tidlige ideer og litt umodne resultater. En poster er egentlig ikke noe annet enn en stor plakat. De fleste postere blir presentert muntlig av minst en av forfatterne, og da gjerne ved å stå ved siden av posteren og peke på eller referere til posterens ulike elementer. Det er viktig at posteren er designet på en slik måte at den egner seg som grunnlag for en presentasjon. Det kan vi få til ved å la posteren fortelle en historie, eller ved å dele opp posteren slik at budskapet formidles trinn for trinn på en naturlig måte.

Typiske nybegynnerfeil ved design av postere er bruk av for mye tekst og kronglete akademiske setninger. En annen vanlig tabbe er å ta med irrelevante elementer. Det kan være unødvendige logoer, personnavn eller definisjoner. En god test på om noe er relevant eller ikke, er om det er til nytte som referanse ved en muntlig presentasjon av posteren.

Er man uerfaren, er det fort gjort å designe posteren slik at den spriker innholdsmessig. Det mangler en såkalt rød tråd. Det er derfor lurt å starte posterarbeidet med å identifisere de tre–fire viktigste poengene vi ønsker å formidle, for eksempel konklusjonene vi har kommet frem til, og deretter velge ut eller produsere tekst, figurer, diagrammer og så videre som bygger opp under disse poengene på en pedagogisk måte.

12.1.2 Vitenskapelig abstrakt

Det som her menes med et vitenskapelig abstrakt, er et frittstående dokument, typisk på en til fem sider. Et vitenskapelig abstrakt gir et sammendrag av et vitenskapelig arbeid. Det forventes å ha klare konklusjoner, men også en overordna argumentasjon for konklusjonenes riktighet. Det må dessuten gi en ryddig fremstilling av problemstillingen og vise kjennskap til relevant litteratur. Å få plass til alt vi synes «må med», eller å identifisere hva som kan prioriteres bort, er velkjente problemstillinger ved fremstilling av denne typen publikasjon.

Begrepet abstrakt brukes også i andre sammenhenger eller med andre betydninger. Noen abstrakter er lengre og omtales gjerne som utvidede abstrakter. De kan forstås som en mellomting mellom et vitenskapelig abstrakt og en vitenskapelig artikkel.

De fleste vitenskapelige artikler inneholder også et såkalt abstrakt. Det er som regel kort, fem til femten linjer og plassert først i artikkelen. Det gir et kortfattet sammendrag, i noen tilfeller inkludert strukturell informasjon, uten å stå helt på egne ben. Abstrakter av denne typen kommer vi tilbake til i kapittel 13.

Et såkalt ledelsessammendrag, eller *executive summary* på engelsk, er også en form for abstrakt. Teknologivitenskap dreier seg ofte om oppdragsforskning. Det vil si anvendt forskning utført på vegne av eller på oppdrag fra en bedrift, en insti-

tusjon eller tilsvarende. Da er det viktig å presentere resultatene på en oversiktlig og lett forståelig form slik at beslutningstakere, typisk hos oppdragsgiver, raskt får et overblikk og kan ta avgjørelser uten å måtte lese publikasjonen i detalj. Et ledelsessammendrag skal gjøre det mulig for dertil egnet personell å sette seg inn og ta beslutninger basert på funn og resultater uten å måtte tygge seg gjennom eller lete i en vitenskapelig rapport. Et godt ledelsessammendrag er ikke på mer enn en side og summerer opp de viktigste funnene eller resultatene på en strukturert og ryddig måte. Strukturell informasjon vedrørende den underliggende rapportens organisering hører ikke hjemme i et ledelsessammendrag.

12.1.3 Populærvitenskapelig publikasjon

En populærvitenskapelig artikkel presenterer rent generelt forskningsresultater for folk flest. Tematikken kan imidlertid være begrenset til et bestemt interessefelt, slik at det forutsettes en viss basiskunnskap innen feltet for at leseren skal ha fullt utbytte. En fugleforsker kan for eksempel presentere ny kunnskap om trekkfuglers navigasjonsteknikker på en form som er lett forståelig for hobbyornitologer, men mindre eigna for allmennheten generelt.

En populærvitenskapelig artikkel fokuserer vanligvis på relativt ny kunnskap og i liten grad på bevisene eller argumentasjonen for dens riktighet. Innenfor teknologivitenskap er det ny teknologi og dens potensielle utnyttelse som står i sentrum.

Å skrive en populærvitenskapelige artikkel er litt som å skrive en avisartikkel. Vi må fenge leserens interesse ved hjelp av overskrift, ingress eller bilde, og deretter presentere stoffet på en slik måte at leseren ikke mister interessen eller faller av.

En forskningsbasert kronikk er et spesialtilfelle av en populærvitenskapelig publikasjon. Basert på resultater fra egen og andres forskning tar forskeren aktivt del i samfunnsdebatten.

12.1.4 Vitenskapelig artikkel

Det finnes ulike definisjoner av hva en vitenskapelig artikkel er. Vår definisjon er som følger:

Definisjon 12.1 En *vitenskapelig artikkel* er en artikkel som presenterer ny, ikke tidligere publisert kunnskap som er dokumentert på en etterprøvbart måte.

I noen definisjoner av vitenskapelig artikkel er det også et krav at artikkelen er fagfellevurdert og publisert i et tidsskrift. Fagfellevurdering kan være til stor hjelp, men det er ikke en egenskap ved selve artikkelen, og det er ikke vanskelig å finne fagfellevurderte artikler som ikke holder mål. At artikkelen er publisert i et tidsskrift, er

heller ingen kvalitetsgaranti, da tidsskriftmarkedet oversvømmes av mindre seriøse og helt useriøse aktører. Innen mange teknologifag kan det dessuten være vanskeligere å få en artikkel akseptert ved en topp konferanse enn i mange seriøse tidsskrifter. Det finnes gode og dårlige tidsskrifter, og det finnes gode og dårlige konferanser. Det er ikke hvor artikkelen er publisert, eller hvem som har vurdert den, som avgjør om en artikkel er vitenskapelig eller ikke, men hva som faktisk står i den.

En vitenskapelig artikkels kvalitet avhenger av mange faktorer. Den aller viktigste er den nye kunnskapen artikkelen bidrar med. Er kunnskapen ikke ny, men tidligere publisert, er ikke artikkelen vitenskapelig i streng forstand. En artikkel med banebrytende ny kunnskap vil normalt bli vurdert høyere enn en artikkel som er lite banebrytende. Men det er ikke alltid slik, nytte er for eksempel også viktig. En artikkel med nyttig ny kunnskap rangeres gjerne foran en artikkel som bidrar med mer kunnskap, men av liten nytteverdi. Hvordan kunnskapen presenteres og argumenteres for, er vesentlig. Vitenskapshistorien er full av eksempler på at samme teknologi oppstår omtrent samtidig i uavhengige forskningsgrupper, og da er det kanskje den artikkelen som presenterer teknologien best eller mest pedagogisk, som blir sitert og «husket» i ettertid.

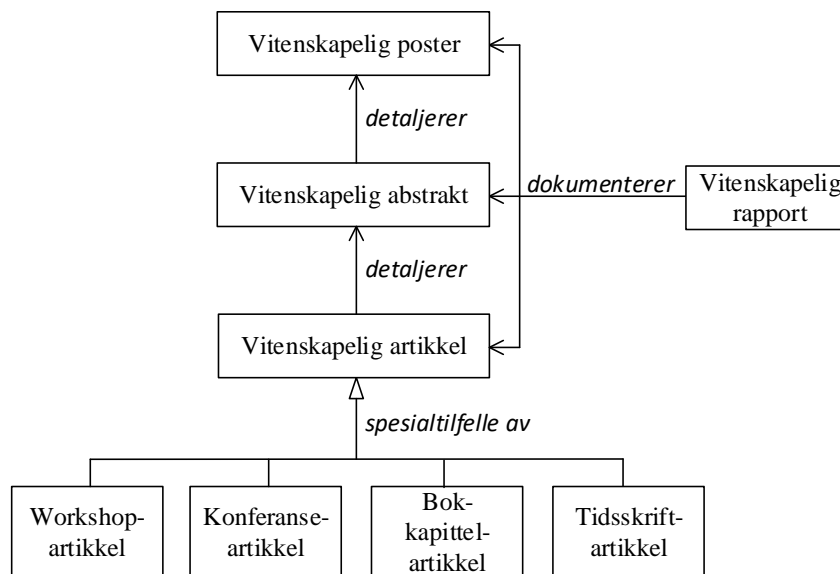
Vitenskapelige artikler publiseres ikke bare i tidsskrifter, men også i artikkelsamlinger i forkant eller etterkant av vitenskapelige konferanser, seminarer og workshoper eller i frittstående bøker. Vitenskapelige artikler har vært, og er fremdeles, forskningens viktigste talerør, og dens struktur er derfor tilegnet et eget kapittel, nemlig kapittel 13.

12.1.5 Vitenskapelig rapport

Kravene til en vitenskapelig rapport er i hovedsak de samme som til en vitenskapelig artikkel. Men vitenskapelige rapporter er ikke underlagt tidsskriftenes og artikkelsamlingenes krav til kortfattet og lesbarhet. Ofte kan det være slik at en vitenskapelig artikkel egentlig er et sammendrag av en eller flere vitenskapelige rapporter, og at den vitenskapelige artikkelens etterprøvbarehet forutsetter dokumentasjon som kun finnes i rapportene. Det er da viktig at vi i den vitenskapelige artikkelen refererer til disse rapportene, slik at de som vil gå forskningen vår etter i sømmene, vet hvor de finner den påkrevde dokumentasjonen. Er det kun en enkelt rapport, og vi er bekymret for unødvendig editering og potensielle inkonsistenser mellom artikkelen og rapporten, er en mulig løsning å organisere rapporten slik at den består av den publiserte artikkelen etterfulgt av et antall vedlegg som presenterer stoff og dokumentasjon som det ikke var plass til i artikkelen. Med hensyn til struktur gjelder de samme anbefalingene som for vitenskapelige artikler, og de kommer vi tilbake til i kapittel 13.

Figur 12.1 relaterer vitenskapelige artikler til publikasjonsformene beskrevet over. Et vitenskapelig abstrakt kan sees på som en spesialisering av en vitenskapelig poster (det kan være omvendt hvis abstraktet er kort). Helt analogt, et vitenskapelig

abstrakt kan detaljeres på en slik måte at vi ender opp med en vitenskapelig artikkel. For alle tre kan det være påkrevet med detaljert dokumentasjon i form av en vitenskapelig rapport. Vitenskapelige artikler kan også klassifiseres med hensyn til publiseringskanal. Kravene til en tidsskriftartikkel er jevnt over strengere enn kravene til en konferanseartikkel eller en artikkel publisert som bokkapittel, som igjen er strengere enn kravene til en workshopartikkel.



Figur 12.1 Publiseringsformer og deres relasjoner.

12.1.6 Masteroppgave

En masteroppgave skrives for å oppnå en mastergrad ved et universitet eller en høyskole. Hovedoppgave og diplomoppgave er andre mer tradisjonelle betegnelser på tilnærmet det samme. En masteroppgave er en slags mellomting mellom en bok og en rapport, ofte på mer enn 100 sider. I hvilken grad en masteroppgave kan kalles vitenskapelig, varierer sterkt. Noen masteroppgaver er av høy kvalitet og gir opphav til en eller flere vitenskapelige artikler. Andre holder kanskje mål metodisk, men bidrar ikke med ny kunnskap. Andre igjen har også metodiske svakheter, men kvalifiserer likevel til en mastergrad.

Strukturelt bør en masteroppgave ligge tett opptil anbefalingene for en vitenskapelig artikkel som beskrevet i kapittel 13, rent bortsett fra at det er langt mer plass til rådighet for hver enkel komponent.

12.1.7 Doktoravhandling

En doktoravhandling skrives for å oppnå en doktorgrad ved et universitet eller høyskole. Det finnes andre grader som for eksempel magistergrad, hvor kravende til avhandlingen er tilnærmet de samme som for en doktorgrad. En doktoravhandling forventes å tilfredsstille alle krav til et vitenskapelig arbeid.

Tidligere var en doktoravhandling alltid en monografi, men i våre dager er den ofte en artikkelsamling bestående av et innledende sammendrag på opptil 100 sider, etterfulgt av minst tre vitenskapelige artikler. Sammendraget, eller «kappa» som den også kalles, forventes å redegjøre for sammenhengen mellom artiklene og presentere arbeidet som et sammenhengende hele.

12.1.8 Vitenskapelig bok

Også bøker må tilfredsstille de samme kravene som artikler for å være vitenskapelige. Det er selvsagt både mulig og vanlig å skrive bøker om vitenskap som ikke presenterer ny kunnskap, men da snakker vi om lærebøker, populærvitenskapelige bøker eller bøker som oppsummerer et fagfelt.

Vitenskapelige bøker er ofte betydelig mer pedagogiske enn vitenskapelige artikler, og bidraget til ny kunnskap kan være at de på en ny måte binder sammen fragmentert kunnskap til et hele. Å skrive bøker er krevende fordi det er veldig mye tekst og annet materiale å holde orden på. Selve skriveprosessen tar dessuten lang tid, og det er fort gjort å skifte stil eller abstraksjonsnivå underveis, uten at vi i første omgang merker det selv.

12.1.9 Patent

Fremstilling eller skriving av patenter er for forskere flest utfordrende, ikke minst på grunn av relevansen av juridisk kompetanse. Patentstyret, som er Norges nasjonale kompetansesenter for industrielt rettsvern, definerer et patent som følger:

Definisjon 12.2 Et *patent* beskytter en konkret løsning på et teknisk problem. Det gis patent på oppfinnelser. Oppfinnelsen må utgjøre en praktisk løsning av et problem, der løsningen har teknisk karakter, teknisk effekt og er reproduserbar. Man kan ikke få patent på en ide uten å forklare eller vise hvordan den kan gjennomføres i praksis. Man kan heller ikke få patent på et forretningskonsept. Fremgangsmåter, produkter, apparater og anvendelser kan patenteres.

For å få patentet godkjent kreves et presisjonsnivå som gjør det mulig å begrunne at oppfinnelsen er ny og ikke dekkes helt eller delvis av eksisterende patenter.

Samtidig er det ønskelig at patentet er bredt, slik at det ikke kan omgås av potensielle konkurrenter ved å patentere varianter. Skal det søkes om patent og vi mangler spesialkompetanse innen patentskriving, bør vi sørge for at relevant ekspertise involveres.

12.2 Gjenbruk

Det er vårt ansvar at det vi publiserer, holder mål. Det innebærer redelighet i gjennomføring og fremstilling av forskningsprosess, beskrivelse av artefakt og dokumentasjon av evaluering. Det innebærer at vi gir andre den kreditt de har gjort seg fortjent til, og det innebærer at vi ikke kopierer, gjenbraker eller utnytter eget eller andres arbeid uten at dette er avtalt og godkjent på forhånd av involverte forlag og øvrige interessenter. Dette er vel og bra i teorien, men kan være utfordrende i praksis.

Det er ingen tvil om at dagens publiseringsjag har stor innvirkning på hvordan forskere arbeider, og ikke minst publiserer. Nobelprisvinneren Peter Higgs offentliggjorde færre enn ti artikler fra arbeidet om Higgs-partikkelen ble utgitt i 1964 og til han pensjonerte seg i 1996. Han fremhever i et intervju med *The Guardian* [1] at han neppe hadde fått en akademisk stilling i dag, fordi han ville blitt vurdert til ikke å være tilstrekkelig produktiv. Han tror heller ikke at han under dagens arbeidsbetingelser ville fått tilstrekkelig tid og ro til å gjenta arbeidet han fikk nobelprisen for.

Dagens forskere tvinges til å publisere ofte. Antallet publikasjoner vektlegges ved ansettelse i vitenskapelige stillinger, og ved opprykk, som fra amanuensis til professor, eller fra forsker til seniorforsker. Antallet publikasjoner er også av stor betydning for å nå opp i den beinharde konkurransen om forskningsmidler. Ikke nok med det, har man først lyktes med å få finansiering for et forskningsprosjekt, utøver bevilgende myndighet, for eksempel Forskningsrådet eller et av EUs mange forskningsprogrammer, press for at det skal publiseres mye og via mange kanaler.

I lys av dette er de senere årenes fokus på forfatters gjenbruk og utnyttelse av eget arbeid i nye publikasjoner ikke spesielt overraskende. Fenomenet omtales gjerne som dobbeltpublisering, eller selvplagiat.

Definisjon 12.3 *Dobeltpublisering* er gjenbruk av eget allerede publisert materiale på en slik måte at dette materialet i den nye publikasjonen fremstår som nytt og originalt.

Dobeltpublisering er problematisk for forlag fordi de risikerer å publisere artikler som for lengst er publisert eller er under publisering av andre. Konsekvensen kan være redusert nyhetsverdi, et lavere antall siteringer og til syvende og sist redusert inntjening. Dobeltpublisering er også et problem for konferansearrangører og initiativtakere til seminarer fordi de risikerer at presentasjoner i programmet har

blitt holdt andre steder tidligere, og derfor ikke motiverer folk til å melde seg på. Dobbeltpublisering er dessuten et problem for ansettelseskomiteer og prosjektevaluatorer, da noen kandidater kan fremstå som bedre enn de egentlig er fordi de har publisert det samme arbeidet flere ganger, under ulike titler.

Som for så mye annet kan det være vanskelig å skille rett fra galt. For eksempel, hvor mye nytt må en artikkel inneholde for å kunne publiseres som ny? Og hva med den mer rutinemessige teksten, som beskrivelsen av en forskningsmetode forfatterne alt har beskrevet flere ganger i tidligere artikler? Dessuten, hvor relevant er alt dette på tvers av publiseringskanaler? Må vi for eksempel referere til en populærvitenskapelig artikkel hvis den kommer ut før den vitenskapelige artikkelen?

Dette er omstridt. Vi publiserer for å spre kunnskap som potensielt kan bringe menneskeheten videre. I en slik kontekst synes det irrelevant om en forfatter gjenbraker en rutinemessig paragraf som forfatteren selv har skrevet, men her er det ulike oppfatninger.

Å bevisst føre omverdenen bak lyset ved å fremstille gamle resultater som nye er helt klart forkastelig. På den annen side er det viktig å ikke helt miste gangsynet. Det er rimelig bred enighet om at det er uproblematisk

- at det for en vitenskapelig artikkel også finnes en vitenskapelig rapport som enten er identisk med eller en utvidet versjon av artikkelen;
- å publisere preprints via arXiv.org – faktisk er nesten alt som publiseres innen visse fagfelt av fysikk og matematikk, tilgjengelig via denne portalen;
- å sende en artikkel publisert i et konferansebind til et tidsskrift for vurdering så lenge vi samtidig informerer tidsskriftets redaktør om at artikkelen allerede foreligger i et konferansebind, og vi ikke bryter inngåtte avtaler knyttet til den allerede publiserte versjonen;
- å akseptere en invitasjon fra et seriøst tidsskrift om å republisere en artikkel som en av flere utvalgte artikler i etterkant av en konferanse;
- å «følge løypa» fra abstrakt eller poster via workshop- og/eller konferanseartikkel til en tidsskriftartikkel, med det samme arbeidet, men i en stadig mer gjenomarbeida og komplett form. Igjen er det viktig å spille med åpne kort og nøye spesifisere bidraget til den siste versjonen i forhold til allerede publiserte versjoner.

Kapittel 13

Artikkelskriving

Den vitenskapelige artikkelen er på mange måter forskningens gullstandard. Det er udiskutabelt innen grunnforskning, og det gjelder i stor grad også innen teknologivitenskap. Det er derfor i en bok som denne naturlig å vektlegge artikkelskriving spesielt. I det følgende tar vi for oss de sentrale elementene i en vitenskapelig artikkel, med spesiell vekt på utfordringer forbundet med teknologivitenskap.

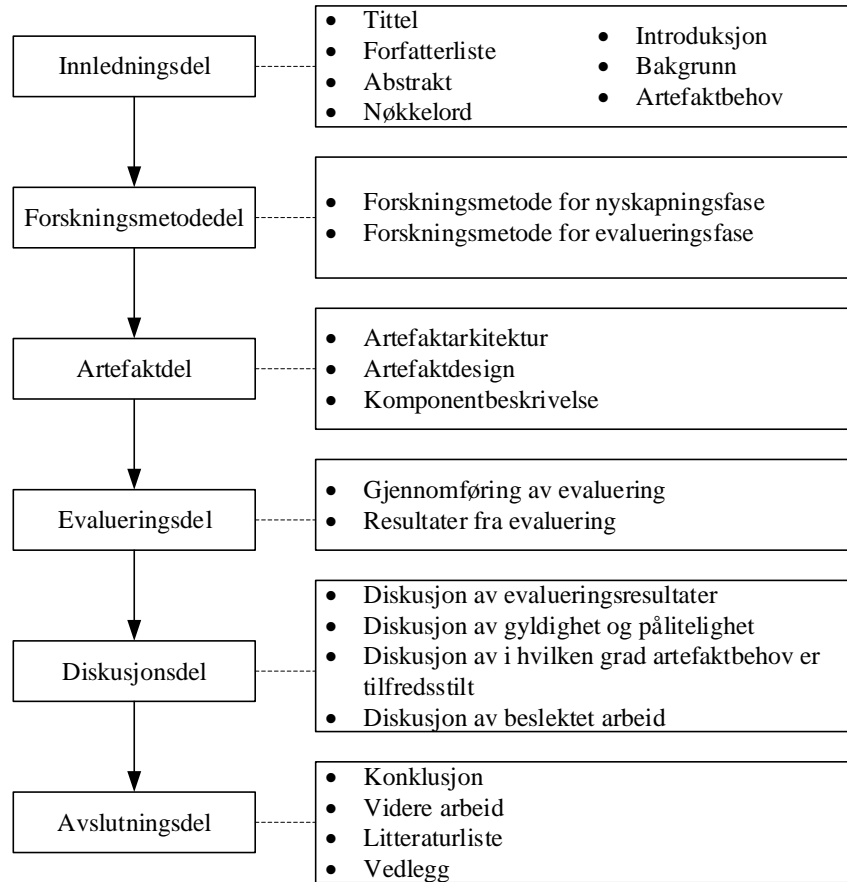
13.1 Struktur og oppbygning

Vitenskapelige artikler kan skrives på mange måter, og det finnes få absolutte regler. En typisk teknologivitenskapelig artikkel består imidlertid av seks hoveddeler, som illustrert i figur 13.1. Innledningsdelen inkluderer tittel, forfatterliste, abstrakt, nøkkelord, introduksjon samt en karakterisering av artefaktbehov. I hvilken grad behovskarakteriseringen er en egen seksjon eller en paragraf i introduksjonen, avhenger av hva slags artefakt det er snakk om – ikke minst hvor kompleks det er. Innledningsdelen kan også ha en bakgrunnsseksjon som for eksempel presenterer *state-of-the-art* for relevant teknologi eller forskning, men det vektlegges ikke i det følgende da bakgrunnsstoff som regel må ofres på plassbegrensningens alter.

Forskningsmetodedelen er plassert umiddelbart etter innledningsdelen. Den kan naturlig deles i to med fokus på henholdsvis nyskappingsprosessen og evalueringen. Alternativt kan forskningsmetoden for evalueringen presenteres i evalueringssdelen senere i artikkelen. De to seksjonene kan dekomponeres videre i underseksjoner etter behov.

Artefaktdelen dreier seg om å beskrive nyskapingen. Hvordan det gjøres rent konkret, avhenger av hva slags artefakt det er snakk om, men en form for artefaktbeskrivelse er nødvendig. Beskrivelsen vil typisk karakterisere artefaktets arkitektur samt oppførselen og egenskapene til viktige enkeltkomponenter.

Evalueringssdelen presenterer resultater og erfaringer fra studier, undersøkelser eller eksperimenter gjennomført for å teste ut eller etterprøve nyskapingens egen-



Figur 13.1 Oppdeling og videre nedbrytning av en teknologivitenskapelig artikkel.

skaper og kvaliteter. Også dens struktur avhenger av disiplin, artefakttype og hva slags empiri eller bevisførsel det er snakk om. Den forventes å dokumentere gjennomføringen av evalueringen samt evalueringsresultatene. Det inkluderer innsamla data og målinger samt analysene av disse.

I forbindelse med et vitenskapelig arbeid er det mye som kan gi opphav til diskusjon. Det inkluderer evalueringsresultatene samt deres gyldighet og pålitelighet. I hvilken grad artefaktbehovet er tilfredsstilt, er gjerne også et diskusjonstema, og det samme gjelder relasjonen til andres arbeid og eksisterende litteratur.

Avslutningsdelen består av konklusjon, planer for videre arbeid, takk til samarbeidspartnere og bidragsyttere, litteraturliste samt vedlegg gitt at det er rom og behov for det.

Som vi alt har vært inne på, er en vitenskapelig rapport på mange måter en vitenskapelig artikkel uten plassbegrensninger. Anbefalinger gitt i det følgende er derfor

også relevante for rapportskriving. Det samme gjelder for masteroppgaver samt doktoravhandlinger skrevet som monografi.

13.1.1 Tittel

Artikkelens tittel er viktig av flere årsaker. For det første skal den på en komprimert måte fortelle potensielle lesere hva artikkelen bidrar med, og hvorfor de bør lese den. For det andre har de ordene og termene som den gjør bruk av, stor innflytelse på når og i hvilken grad artikkelen hentes frem ved søk.

Tittelen er også viktig for artikkelens forfattere fordi den karakteriserer publikasjonens vinkling. Det bør være en klar rød tråd fra tittelen via artikkelens ulike strukturelle elementer til artikkelens viktigste konklusjoner.

Tittelen må ikke bli for generell. Den må få frem essensen i artikkelens bidrag. På den annen side må den heller ikke bli for spesiell, for eksempel benytte ord og begreper som nesten bare forfatterne selv skjønner betydningen av.

En beskrivende tittel med fokus på det nye artefaktet og dets fortrinn er ofte et godt valg. Dreier forskningen seg om for eksempel robotbasert bekjempelse av brunsnegler, er følgende titler av den beskrivende typen:

- Robust og trygg robot for identifisering og innsamling av brunsnegler i hage.
- Algoritme for treffsikker identifisering av brunsnegler i sann tid.
- Gripearmer for plukking av brunsnegler fra gressplen og blomsterbed.

En tittel uttrykt som en påstand fungerer også bra. Påstanden kan være hypotesen vi har funnet belegg for. Eksempler i så måte er:

- Produksjon av roboter for innsamling av brunsnegler til forbrukervennlige priser er mulig.
- Algoritmen SnegleTreff identifiserer brunsnegler i gress med en feilrate på maksimum 1 promille.

Titler i form av ordspill eller litterære sitater, som ofte benyttes i aviser og blader, er vanligvis ikke å anbefale, i hvert fall ikke som hovedtittel. Problemet med slik titler er at artiklene overses eller klassifiseres feil av søkeverktøy.

Det er lurt å analysere tittelen ord for ord. Begreper og vendinger som er lite meningsbærende, bør fjernes. Uttesting av tittelen på kollegaer, familie, venner og så videre er ofte fruktbart. Det er ikke nødvendigvis påkrevet å forstå stort av artikkelens innhold for å kunne bidra med konstruktive forslag til forbedring av tittel.

13.1.2 Forfatterliste

Forfatterlista navngir artikkelens forfattere. I utgangspunktet enkelt nok, men likevel ofte gjenstand for diskusjon eller i verste fall krangel. Uenighetene dreier seg om to forhold:

- *Forfatterskap*: Hvem har bidratt nok til å inkluderes i forfatterlista?
- *Rekkefølge*: Hvilken ordningskonvensjon skal benyttes, og gitt en slik, hvordan skal den implementeres i det aktuelle tilfellet?

Med hensyn til *forfatterskap* finnes det anerkjente konvensjoner og anbefalinger å støtte seg på. Ifølge Vancouver-reglene [74], [66], som fokuserer på medisin, men har langt bredere relevans, skal enhver forfatter ha deltatt i arbeidet i en slik utstrekning at han/hun kan ta offentlig ansvar for angjeldende deler av innholdet. En eller flere forfattere må ta ansvar for integriteten til arbeidet i sin helhet, fra planlegging til publisering. Forfatterskap skal utelukkende baseres på:

1. Vesentlige bidrag til ide og utforming, eller datainnsamling, eller analyse og tolkning av data.
2. Utarbeiding av selve manuskriptet eller kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold.
3. Godkjenning av artikkelversjonen som skal publiseres.
4. Enighet om å være ansvarlig for alle deler av arbeidet for å sikre at spørsmål knyttet til presisjon eller integritet til noen del av arbeidet er hensiktsmessig undersøkt og løst.

Slike regler er også gjenstand for tolkning. Er det fremdeles tvil om en bidragsyter bør inkluderes i forfatterlista, er det vanligvis en god ide å la tvilen komme vedkommende til gode.

Med hensyn til *rekkefølge* er de to vanligste konvensjonene:

- Alfabetisk ordning i henhold til etternavn.
- Ordning i henhold til størrelse på bidrag.

Den første er lett å implementere, men egner seg først og fremst når forfatterne er tilnærmet likeverdige. Den andre er i utgangspunktet mer rettferdig, men er vanskeligere å implementere fordi det kan være problematisk å måle det ene bidraget opp mot det andre. I noen forskningsgrupper er førsteforfatteren den som gjør det meste av skriveingen, men det fungerer dårlig hvis andre står bak det vitenskapelige bidraget. Dreier det seg om en artikkel skrevet i forbindelse med en doktorgrad, er det vanlig at stipendiatens navn kommer først, etterfulgt av veiledernes.

For å unngå krangler med hensyn til rekkefølge er det lurt å avtale ting på forhånd. Hvem har ansvar for hva, og i hvilken rekkefølge skal forfatterne navngis? Det kan også være lurt å bli enige om en prosedyre for å løse potensielle konflikter. Da vet alle hva de har å forholde seg til, og kan planlegge egen innsats og tid i henhold til det.

13.1.3 Abstrakt

De fleste vitenskapelige artikler inneholder en kort seksjon omtalt som abstrakt. Vanligvis er dette abstraktet plassert umiddelbart etter artikkelens tittel og forfatterliste, men før introduksjonen. Et abstrakt i en vitenskapelige artikkel er ikke et «vitenskapelig abstrakt» i betydning av seksjon 12.1.2, men et kortfattet sammendrag på fem til femten linjer av den aktuelle artikkelen – i noen tilfeller inkludert strukturell informasjon.

Abstraktet spiller noe av den samme rollen som artikkelens tittel. Finner leseren tittelen interessant, er abstraktet vanligvis det neste han/hun ser på. Derfor er det viktig at abstraktet er skrevet på en slik måte at tiltenkte lesere ikke mister interessen. Det er verdt å merke seg at mange søkeverktøy også gjør bruk av abstraktets innhold ved seleksjon av artikler. Vi bør derfor benytte begreper og termer som sørger for at artikkelen fanges opp i relevante søk.

For forfatterne er det dessuten viktig å påse at abstraktet har en vinkling som svarer til artikkelens tittel. Det høres kanskje opplagt ut, men i praksis er det ikke uvanlig å komme over artikler hvor tittel og abstrakt spriker innholdsmessig.

13.1.4 Nøkkelord

Nøkkelord brukes til å klassifisere artikler med hensyn til innhold. Valg av nøkkelord er viktig for at relevante lesere lett skal kunne finne frem til artikkelen ved søk. Det er vanligvis snakk om å identifisere fem til ti nøkkelord. En del tidsskrifter opererer med lister av forhåndsdefinerte nøkkelord som forfatterne kan velge blant.

13.1.5 Introduksjon

I likhet med tittelen og abstraktet har introduksjonen en motiverende rolle. Introduksjonen må være skrevet på en slik måte at tiltenkte lesere skjønner at denne artikkelen er relevant for dem. Introduksjonen skal være godt forståelig for artikkelens målgruppe, men samtidig så konsis at den ikke oppfattes som kjedelig.

En teknologivitenskapelig artikkel dreier seg om å tilfredsstillere et artefaktbehov ved å forbedre eller overgå det ypperste eller rådende innenfor et fagfelt i en eller annen nøyte spesifisert betydning. Introduksjonen må på et overordna nivå klargjøre hva dette behovet er, og hva denne forbedringen består i. Det nødvendiggjør en oppsummering av status og forskningsfront innenfor det aktuelle fagfeltet.

Som forklart i seksjon 6.1 er eksplisitte hypoteser ikke påkrevet så lenge de følger implisitt fra annen dokumentasjon i artikkelen. På den annen side, en hypotese som ikke er altfor teknisk, for eksempel en arbeidshypotese som vi baserte forskningen på, kan øke introduksjonens lesbarhet og ha en motiverende effekt på leseren.

I tillegg forventes en kortfattet oversikt over forskningens ulike trinn og aktiviteter: Hvordan vi gikk frem for å oppnå resultatet. Denne oversikten kan med fordel baseres på en figur.

Introduksjonen skal også forberede leseren på resten av artikkelen. Det innebærer å presentere og motivere artikkelens struktur samt å gi en oversikt over hva som beskrives hvor. Har artikkelen vedlegg, skal innholdet i disse også beskrives. Det er rimelig irriterende for en leser å først oppdage at det er et vedlegg med definisjoner etter å ha kjempet seg gjennom store deler av artikkelen. Finnes det vitenskapelige rapporter eller permanente nettsider med bakgrunnsmateriale, bør de også som regel siteres her.

For øvrig er det verdt å merke seg at i en vitenskapelig artikkel er det ingen grunn til å spare eller hemmeligholde det beste til slutt. Det vi mener er av reell verdi, eller vårt egentlige bidrag, og som vi er stolte av, bør fremheves i introduksjonen for å skjerpe leserens interesse. Det er heller ingen grunn til å mørklegge deler av strukturen. Lesere av vitenskapelige artikler vil gjerne ha oversikt over «stien de skal gå», før de går den.

13.1.6 Karakterisering av artefaktbehov

Teknologiforskning dreier seg om å tilfredsstille et potensielt artefaktbehov. I en teknologivitenskapelig artikkel må dette behovet karakteriseres. Detaljeringsgrad avhenger av hvor mye plass vi har til rådighet samt hva slags artefakt det er snakk om. Er behovet og det unike med vårt bidrag lett å beskrive, er det kanskje tilstrekkelig med en paragraf i introduksjonen. I andre mer spesialiserte tilfeller er det påkrevd med en egen seksjon. Om vi uttrykker behovet i form av vanlig prosa eller for eksempel krav eller suksesskriterier, er irrelevant. At artefaktbehovet er klart formulert på et egnet abstraksjonsnivå, er imidlertid viktig. I en artikkel er det gjerne nødvendig å forenkle eller gi en kortfattet beskrivelse av behovet. I så fall er det nyttig å ha en full rapport med alle detaljer å referere til.

13.1.7 Beskrivelse av teknologivitenskapelig forskningsmetode

Den teknologivitenskapelige forskningsmetoden er fremgangsmåten vi gjorde bruk av for å komme frem til og evaluere det nye artefaktet. Mange teknologivitenskapelige prosjekter dreier seg om å lage en metode – for eksempel en ny og bedre metode for tidlig identifikasjon av cyberangrep. Da er artefaktet selv en metode. Forskningsmetoden må ikke forveksles med den nye metoden som utgjør artefaktet.

Beskrivelse av forskningsmetoden er en ofte forsømt del av teknologivitenskapelige publikasjoner. Det skyldes til en viss grad at eksisterende litteratur og forelesningsmateriell om forskningsmetodikk gjerne tar utgangspunkt i natur- eller

samfunnsvitenskap og benytter en terminologi som er fremmed for mange teknologivitenskapelige forskere. Som påpekt tidligere er det imidlertid ikke så viktig hva ting kalles, og hvilke begreper vi benytter, så lenge vi gjør de rette tingene og dokumenterer det vi gjør på en ryddig og strukturert måte.

Ofte er det nyttig å dele beskrivelsen av forskningsmetoden i to hoveddeler:

1. *Forskningsmetode for nyskappingsfasen*: Det vi gjør for å komme frem til det nye artefaktet.
2. *Forskningsmetode for evalueringsfasen*: Det vi gjør for å evaluere det nye artefaktet.

Disse kan så dekomponeres videre etter behov. Det innebærer å beskrive:

- *materialer* – som inngår i artefaktet, i prototyper eller benyttes for å prøve ut eller teste artefaktet;
- *prosedyrer* – inkludert fremgangsmåte, standarder og så videre;
- *utstyr* – inkludert oppsett, parametere og lignende;
- *analyseteknikker* – inkludert statistisk analyse, programvareanalyse, økonomisk analyse og tilsvarende.

I forbindelse med nyskappingsprosessen vil det kanskje utføres forstudier. En forstudie kan dreie seg om å oppnå en bedre forståelse av artefaktbehovet, utføre en litteraturstudie eller kartlegge egenskapene til ulike materialer av betydning for artefaktet. For hver slik studie er det naturlig å beskrive den anvendte forskningsmetoden, eller i det minste referere til en slik beskrivelse. Med hensyn til idegenerering er det ikke alltid like viktig å dokumentere selv prosessen. Får vi en ide i dusjen, er det irrelevant for artikkelen at det skjedde nettopp i dusjen, selv om hele artikkelen er basert på den ideen. På den annen side, bedriver vi aksjonsforskning basert på en detaljert prosess for identifikasjon av aksjoner, er det avgjørende for resultatets gyldighet at prosessen dokumenteres.

13.1.8 Beskrivelse av det nye artefaktet

Hvordan nyskapningen beskrives, avhenger naturlig nok i stor grad av hva slags artefakt det er snakk om. I noen teknologivitenskapelige artikler er artefaktbeskrivelsen gjort unna på en halv side, mens den i andre utgjør den klart største delen av artikkelen. For avansert teknologi beskrives gjerne nyskapningen fra ulike synsvinkler og på forskjellige abstraksjonsnivåer.

Er artefaktet av en viss kompleksitet, forventes i det minste en slags designspesifikasjon. Det kan dreie seg om en arkitekt- eller byggetegning hvis artefaktet faller innen under bygg og anlegg, en kjemisk formel hvis artefaktet er et nytt materiale, eller et flytdiagram hvis det er snakk om en ny arbeidsprosess. En designspesifikasjon vil beskrive de viktigste komponentene som inngår i artefaktet, hvordan disse komponentene påvirker eller kommuniserer og interagerer med hverandre, og hva

de enkelt komponentene gjør hver for seg. Komponentene kan for eksempel være stoffer, materialer, maskiner, programvare eller menneskelige prosesser, aktiviteter eller strukturer.

13.1.9 Evaluering av det nye artefaktet

Evalueringen dreier seg om å teste, undersøke og prøve ut om eller i hvilken grad nyskapningen tilfredsstillende artefaktbehovet. Som beskrevet i kapitlene 7–10 kan dette gjøres på mange ulike vis, avhengig av fagfelt og hva slags nyskapning det er snakk om. Ofte må flere evalueringsmetoder kombineres.

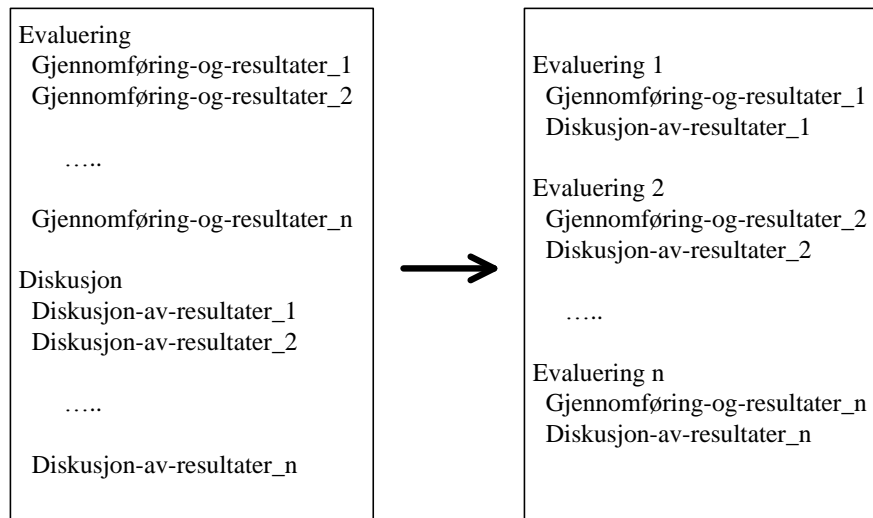
Innen teknologivitenskap innebærer evaluering typisk en form for prototyping. I så fall er det viktig å dokumentere hvordan prototypen er bygget, og på hvilken måte den kan sies å være i overensstemmelse med designet, som forhåpentligvis er beskrevet tidligere i artikkelen.

Evalueringsdelen må få frem sammenhengen mellom evalueringens ulike komponenter, og gjerne strukturere det hele i henhold til disse. En sentral ingrediens er presentasjon av evalueringsresultater, herunder statistisk analyse i den grad det er relevant. Konsistens, ryddighet og en gjennomtenkt struktur reduserer sannsynligheten for misforståelser og feiltolkninger. Får vi ikke plass til alt i selve artikkelen, må vi tilgjengeliggjøre det resterende på annen måte (for eksempel med en referanse til en åpen vitenskapelig rapport).

13.1.10 Diskusjon av evalueringsresultater

At den objektive presentasjonen av evalueringsresultatene (inkludert analyser) og den mer subjektive diskusjonen av disse blandes sammen, er en vanlig feil innen artikkelskriving generelt. Konsekvensen blir lett at noe som egentlig er subjektiv syning, oppfattes som objektiv og omvendt. Evalueringsresultater og diskusjonen av disse bør derfor plasseres i adskilte seksjoner. Det gjør det lettere for leseren å fortolke og vurdere fordi leseren da vet hva forfatterne hevder er hva. Det gjør det på et vis også lettere for forfatterne fordi de tvinges til eksplisitt å ta stilling til om et utsagn kan klassifiseres som objektivt, eller om det representerer en subjektiv oppfatning som er relevant kun for diskusjonsdelen.

Hvis evalueringen er dekomponert i et antall ulike devalueringer, kan det bli stor tekstlig avstand mellom resultater og diskusjonen av disse. Venstresiden i figur 13.2 illustrerer problemet. Diskusjonen kommer først etter at resultatene fra alle devalueringene har blitt presentert. I så fall kan det være nyttig å restrukturere artikkelen i henhold til høyresiden i figur 13.2, hvor hver devaluering er en egen seksjon dekomponert i resultatdel og diskusjonsdel.



Figur 13.2 Struktur for evaluerings- og diskusjonskapitler.

Empirisk evaluering er utfordrende, og mulighetene for å gjøre feil er mange. En diskusjon av resultatenes gyldighet og pålitelighet som beskrevet i kapittel 11 er påkrevet. Det gjelder både for evalueringen som helhet og for hver devaluering. En slik diskusjon er krevende fra et forfatterperspektiv. Det kan føles litt som å feie bort fundamentet for egne resultater. Det gjelder ikke minst hvis menneskelig aktivitet eller involvering har vært gjenstand for evaluering med de mulighetene for påvirkning og uønskede effekter det medfører.

Uansett, det gjelder å være ærlig og ikke late som om ting er bedre enn de egentlig er. Ta utgangspunkt i hvordan gyldighet og pålitelighet er brutt ned i underbegreper (se kapittel 11), og strukturer diskusjonen i henhold til det.

13.1.11 Diskusjon av om artefaktbehov er tilfredsstilt

Selv etter omfattende evaluering er det ikke nødvendigvis uten videre klart om artefaktbehovet er tilfredsstilt. Det er heller ikke uvanlig at artefaktbehovet er kun delvis tilfredsstilt, uten at dette nødvendigvis forringer arbeidets kvalitet eller gjør artikkelen mindre interessant. Vi har kanskje lykkes bra med deler av behovet, mindre bra med andre deler av behovet, mens det er uklart i hvilken grad vi har tilfredsstilt det resterende. I så fall er det naturlig å diskutere seg gjennom behovets ulike aspekter, et etter et, for derved å gi leseren et ryddig og godt forståelig bilde av situasjonen.

13.1.12 Diskusjon av beslektet arbeid

Hvor i artikkelen det er mest naturlig å diskutere beslektet arbeid og litteratur, avhenger av fagfelt og artefaktets kompleksitet. Generelt, i en teknologivitenskapelig artikkel fungerer litteratordiskusjonen ofte best om den kommer sent i artikkelen, fordi den forutsetter en viss innsikt i den nyskapningen som artikkelen presenterer. Det betyr ikke at introduksjonen eller andre deler av artikkelen skal avstå fra å diskutere beslektet litteratur, men en litteratordiskusjon innen teknologivitenskap blir som regel bedre når vi kan referere til beskrivelsen av nyskapningen, og det er det vanskelig å gjøre før den har blitt presentert.

13.1.13 Konklusjon

Alt som skrives i en artikkel, bør bygge opp under artikkelens konklusjoner. Avsnittene som ikke gjør det, kan strengt tatt utelates. Dessverre har mange artikkelforfattere en tendens til å nedprioritere avslutningsdelen, og det er ikke uvanlig å finne publiserte artikler som ender opp uten klare konklusjoner. Det skyldes ikke nødvendigvis kvaliteten på resultatene, men at forfatterne fokuserer på de vitenskapelige vanskelige eller utfordrende delene av arbeidet, og regner med at leseren selv kan slutte seg til hva dette faktisk innebærer. Det er en stor tabbe. Generelt bør vi tenke på konklusjonen som et tilnærmet frittstående sammendrag, litt i samme ånd som et ledelsessammendrag beskrevet i seksjon 12.1.2. Det vi ønsker at leseren skal få med seg, må uttrykkes eksplisitt og helst «serveres med teskje», bit for bit. Konklusjonen kan være kjedelig og krevende å skrive, men den er helt avgjørende for andres vurdering av artikkelen.

13.1.14 Videre arbeid

Det er vanlig at vitenskapelige artikler inneholder en seksjon eller paragraf som beskriver forfatterens pågående og/eller videre planer for det aktuelle forskningsarbeidet, typisk som en del av konklusjonsseksjonen. Generelt bør denne beskrivelsen være kortfattet. En beskrivelse av videre arbeid er nyttig, men normalt ikke påkrevet, og den påvirker ikke artikkelens kvalitet i særlig grad.

13.1.15 Takk

Det er god praksis at forfatterne takker andre bidragsytere. Det kan være:

- assistenter og samarbeidspartnere som har hjulpet til med forskningen uten å kvalifisere som forfattere;
- kollegaer og fagfeller som har lest og kommentert, eller på andre måter bidratt til det faglige;
- finansører eller utstyrsløvere;
- arbeidsgivere, ledere eller andre fasilitatorer.

Det er viktig å merke seg at de som nevnes, lett blir tatt til inntekt for det som står i artikkelen. I den grad det er uklart om noen ønsker å navngis, bør det innhentes tillatelse, og helst skriftlig.

13.1.16 Litteraturliste

Hvis vi gjør bruk av eller bygger på andres arbeid, skal dette arbeidet siteres. Det gjelder imidlertid ikke for bidrag som er generelt aksepterte eller beskrevet utførlig i lærebøker. Ved sitering er det god praksis å referere til den opprinnelige publikasjonen. I tillegg er det ofte påkrevd å ta med senere arbeider i den grad disse bidrar med bedre forklaringer eller for oss mer relevante vinklinger.

Nettreferanser skal også inn i referanselista. Hvis mulig, angi permanente URL-linker. For alle nettreferanser skal aksessdato spesifiseres. Det er god praksis å laste ned det siterte innholdet og lagre det trygt i eget arkiv for det tilfellet at det på et senere tidspunkt skulle bli diskusjon om nettsiden har endret seg, eller den fjernes.

De fleste tidsskrift og mange konferanser forventer at litteraturlista er på en bestemt form, for eksempel i henhold til Harvard-reglene [2] eller Vancouver-reglene [74]. En ryddig og konsistent litteraturliste er naturlig nok ønskelig av presentasjonsmessige årsaker. Disse konvensjonene er imidlertid motivert ut ifra flere hensyn. De sørger for at kildene som siteres, lett kan gjenfinnes. De sørger også for at leseren får en klar forståelse av hva slags type publikasjon det er snakk om, og hvilken evalueringsprosess og kvalitetskontroll den var gjenstand for før publisering.

Dessverre er det mye slurv og unøyaktighet i implementeringen av slike konvensjoner. Det er ikke uvanlig at samme type publikasjon klassifiseres ulikt i den samme litteraturlista. En konferanseartikkel presenteres kanskje som et bokkapittel et sted i lista, mens en annen konferanseartikkel klassifiseres som det den er, eller verre, som en tidsskriftartikkel et annet sted i lista. Alternativt, mens en konferanseartikkel spesifiseres i svært stor detalj slik at for eksempel konferanselokasjonens postadresse inkluderes, er andre konferanseartikler underspesifisert.

En vanlig årsak til denne typen rot, uavhengig av om vi bruker Endnote, Bibtex eller andre verktøy, er ukritisk kopiering av referanser fra diverse databaser. Vi kan unngå problemet ved å vedlikeholde en egen litteraturliste basert på en gjennomtenkt policy hvor vi sørger for å oppdatere referanser fra eksterne databaser så snart de kopieres inn.

13.1.17 Vedlegg

Som påpekt i flere sammenhenger tidligere er etterprøvnbarhet noe vi streber etter. I den sammenheng er vedleggene viktige. Begrensninger på artikkelens lengde kan medføre at det ikke er tilstrekkelig plass til vedlegg, og at artikkelen i stedet må referere til en utvidet versjon, for eksempel en vitenskapelig rapport, for at resultatene skal kunne etterprøves. En slik rapport kan bestå av selv artikkelen etterfulgt av vedlegg som gir fyllestgjørende informasjon i form av detaljerte spesifikasjoner samt evalueringsoppsett og -resultater.

13.2 Hvis skrivingen står i stampe

Alle som har forsøkt å skrive en litt lengre tekst som skal være forståelig for andre, vet at det til tider er utfordrende. Noen ganger går det treigt fordi vi prøver å uttrykke noe som ikke er tilstrekkelig modent i vårt eget hode. Andre ganger sliter vi med strukturen eller setningsoppbygningen. Det kan også være utenforliggende årsaker som gjør skrivingen vanskelig. Det eksisterer ingen universalmedisin, men det finnes i visse tilfeller relativt enkle grep som kan være til hjelp, og i det følgende tar vi for oss noen slike.

13.2.1 Jeg kommer ikke i gang

Det kan være vanskelig å komme i gang med å skrive. Vi kan være usikre på hvor vi skal begynne, eller hvordan vi skal gripe det an. Det kan også være et problem at vi er så ambisiøse på egne vegne at når vi endelig greier å meisle ut et par setninger, så synes disse å være langt under pari i forhold til de forventningene vi har til oss selv og sluttresultatet.

I en slik situasjon kan det være lurt å dekomponere skriveoppgaven i en ordna rekke med deloppgaver, hver med sitt klare og gjerne lite ambisiøse delmål, som til sammen representerer helheten eller en viktig del av den. Vi kan for eksempel gi oss selv i oppgave å nå et nytt delmål hver dag. Det forutsetter at vi har mulighet til å spre ut skrivingen over tid. I motsatt fall kan vi dele opp dagen i et antall faser og prøve å adressere en oppgave i hver fase. For eksempel første fase frem til formiddagskaffen, annen fase fra formiddagskaffen til lunsj og så videre. Målsetningen til den første deloppgaven kan være å formulere en tittel, den andre å skissere et abstrakt, den tredje å lage en innholdsfortegnelse, den fjerde å skissere strukturen til introduksjonen og så videre. Ved å gå systematisk frem på en slik måte får vi etter hvert et utkast til hele artikkelen. Deretter går skrivingen gjerne lettere fordi vi har noe å ta tak i og forbedre. Hvis ikke kan vi fortsette strategien med å sette oss små overkommelige mål som vi tar tak i et etter et. Ordtaket «mange bekker små gjør

en stor å», som beskriver det å bli rik ved å gjennomføre mange små forretninger, fungerer godt også som motto for artikkelsskriving.

13.2.2 Jeg finner ikke den røde tråden

At artikkelen spriker tematisk eller presentasjonsmessig, er en typisk nybegynnerfeil. I en god artikkel er det en rød tråd fra tittel og abstrakt, gjennom alle seksjonene og helt frem til konklusjonen.

Mangel på rød tråd kan ha flere årsaker. Det kan for eksempel skyldes at vi ikke har planlagt artikkelen godt nok. Skal vi skrive en teknologivitenskapelig artikkel, er det fordi vi har en nyskaping i form av et artefakt å presentere. Artikkelens konklusjon vil da dreie seg om dette artefaktet – ikke minst hva det egner seg til og hvilke kvaliteter den har. Alt som ikke på en eller annen måte bygger opp under denne konklusjonen, er egentlig irrelevant for artikkelen. Å ta tak i konklusjonen og strukturere artikkelen med den som utgangspunkt gjør det lettere å få frem sammenhengen mellom artikkelens ulike deler. Det gjør det også lettere å identifisere de delene i en sprikende artikkel som bør kuttes.

En annen hyppig grunn til manglende presentasjonsmessig sammenheng er utstrakt gjenbruk av tekst, for eksempel tekst fra en prosjektsøknad, en problemanalyse eller en innledende studie som vi gjerne vil utnytte. Gjenbruk kan være både lurt og bra, men kun hvis stoffet svarer til artikkelens behov. Det kan føles leit hvis en tekst vi har mye brukt mye tid og flid på å skrive, ikke passer inn, men det er noe vi må regne med. De fleste forfattere må finne seg i at mye av det de skriver, til slutt blir til overs, eller erstattes av noe bedre. Arbeidet forbundet med den overflødige teksten har som regel likevel vært nyttig, fordi denne teksten var et trinn på veien til en bedre tekst eller ga oss ny eller forbedret innsikt.

En tredje grunn til en sprikende fremstilling kan være at artikkelen har flere forfattere, og at deres respektive bidrag ikke er skikkelig integrert. Det skjer ofte fordi ingen av forfatterne tar et helhetsansvar, eller fordi forfatterne er mest opptatt av å få med sine egne ting. Hvordan et slikt problem bør håndteres, avhenger av hvor godt vi kjenner medforfatterne, og hvor fleksible de og vi selv er. Er det enighet om konklusjonene, kan det, som indikert over, være lurt å ta tak i dem og diskutere seg frem til hva som trengs for å etablere en overbevisende fremstilling og argumentasjon. Vi må regne med å måtte både gi og ta med hensyn til hva vi selv har skrevet. Er det derimot uenighet om hva konklusjonene bør være, er det kanskje bedre å skrive to eller flere separate artikler, vinklet mot hver sin konklusjon.

En fjerde vanlig grunn til at artikkelen spriker, er den menneskelige tendensen til å fokusere på det som er lett – innen artikkelsskriving, det som enklest lar seg formulere eller uttrykke. Typisk blir resultatet overdimensjonerte bakgrunnsseksjoner som presenterer stoff som egentlig er nærmest irrelevant for resten av artikkelen, men lett å skrive fordi vi kan ta utgangspunkt i hva andre alt har publisert. I slike tilfeller er det disiplinen som må bli bedre. Er det deler av artikkelen som er spesielt

problematiske eller krevende, så splitt opp disse delene i overkommelige oppgaver og fokuser på hver og en især, som anbefalt i seksjon 13.2.1.

Tidsskriftartikler er ofte uten innholdsfortegnelse, og for leseren er det kanskje greit siden tidsskriftartikler som regel er korte. Vi skal ikke ta stilling til det her, men derimot fremheve innholdsfortegnelsen som et verktøy for forfattere av artikler. Selv om den endelige versjonen skal være uten innholdsfortegnelse, er det nyttig å ha en innholdsfortegnelse under skriveprosessen. I en velskrevet artikkel med gode overskrifter vil nemlig innholdsfortegnelsen nesten kunne leses som et abstrakt. Et godt råd for å kontrollere eller forbedre en artikkels struktur er å prøve å lese den automatisk genererte innholdsfortegnelsen som et stykke prosa. I den grad det er store sprang eller opplagte avvik, kan vi forsøke å endre overskriftene slik at den røde tråden kommer tydeligere frem. Går ikke det, er det trolig behov for større strukturelle endringer.

13.2.3 Jeg får ikke til diskusjonen

Diskusjonen er det mange som sliter med. I det følgende ser vi nærmere på problemet og hva som kan gjøres.

Er evalueringsresultatene entydige, er det ikke påkrevet med noen diskusjon av dem, men det er heller unntaket enn regelen. Det gjelder å være systematisk og ta for seg de ulike evalueringene og analysene hver for seg. I den grad det var overraskelser, avvik, rom for tolkninger og så videre, bør det frem i lyset. Strukturering i henhold til hvordan kapittel 11 dekomponerer begrepene gyldighet og pålitelighet, er ofte fruktbar.

I en teknologivitenskapelig artikkel er det naturlig å diskutere i hvilken grad artefaktbehovet er tilfredsstillt. Sliter vi med dette, er det ofte fordi karakteriseringen av artefaktbehovet er for vag, eller til og med fraværende. Det sier seg selv at en påstand om at «ballen har krysset mållinjen», er lite overbevisende hvis motspilleren ikke vet hvor mållinjen er, eller hvordan den ser ut. I så fall er det kun én medisin som virker, og det er på nytt å ta for seg behovskarakteriseringen og presisere nærmere hva vi prøvde å få til. Har vi en klar og presis behovskarakterisering, kan vi ta tak i den, del for del, og diskutere hva vi har grunnlag for å påstå.

Hvis det er litteratordiskusjonen som volder bry, kan årsaken være at det eksisterer lite relevant litteratur om det aktuelle emnet. At litteratordiskusjonen er kort, er i så fall naturlig, men det trengs dokumentasjon på at dette faktisk er tilfelle. For å underbygge påstanden kan vi spesifisere gjennomførte litteratursøk, i form av anvendt søkeverktøy, søkeord og dato for søk.

En annen mer vanlig grunn til utfordringer forbundet med litteratursøk er at vi selv er for ulne med hensyn til den nye teknologien vi har oppfunnet, hvilke kvaliteter den har, og hva vårt bidrag består i. Hvis det hele bunner i at våre resultater er svake, er det egentlig lite å gjøre rent bortsett fra å forske videre, men det kan også

være at vi i artikkelen har vært for lite presise. I så fall må vi presisere nærmere og gjerne punktvis slik at vi har noe å strukturere diskusjonen i henhold til.

Et tredje potensielt problem forbundet med litteratordiskusjonen er at vi har lest eller forstått for lite av de aktuelle publikasjonene. Manglende eller svært begrenset tid er kanskje den indirekte årsaken. I så fall gjelder det å effektivisere lesingen. Mange har i for stor grad en tendens til å lese artikler, rapporter og lignende fra begynnelse til slutt. Det er ikke spesielt overraskende med tanke på at det som regel er hva forfatterne selv la til grunn da publikasjonene ble skrevet. Sitter vi på kompetanse og erfaring innen et fagfelt, kan det imidlertid være vel så effektivt å lese fra slutten og fremover, eller å lete opp beskrivelsen av selve hovedresultatet og lese derifra. Så snart vi har tilstrekkelig forståelse av hovedresultatet, har vi som regel det vi trenger. Hvis det på den annen side er aspekter ved hovedresultater vi ikke forstår, så kan vi prøve å lete eller søke oss frem til de relevante forklaringene og lese dem. På den måten kan det spares mye tid.

13.2.4 Konklusjonen min sier ingenting

Hvis konklusjonen er tilnærmet innholdsløs og vi er usikre på om den i hele tatt kan forbedres, kan det naturligvis skyldes at vi egentlig ikke har resultater verdt å publisere. Vel så ofte er imidlertid årsaken også her at artikkelens innledningsdel, og spesielt introduksjonen, er for vag eller upresis med hensyn til hva vi har ønsket å oppnå. I så fall er det naturlig å ta for seg introduksjonen på nytt og presisere hva den nye teknologien er ment å være bra på. Det kan medføre at vi også må forbedre evalueringsdelen, og i noen tilfeller også evaluere mer hvis evalueringsresultatene så langt er for svake.

En annen vanlig grunn til en tynn konklusjon er forfatterens beskjedenhet eller frykt for å bli angrepet. Har vi valgt forskningsmetode, gjennomført forskningen etter beste evne og sannsynliggjort resultatenes gyldighet, må vi tørre å legge frem funn på en klar og tydelig måte. Er dette i motstrid med eller bedre enn hva andre har kommet frem til, så skriv det eksplisitt. Har vi identifisert feil i andres arbeid, så skriv det eksplisitt.

13.2.5 Jeg greier ikke å kutte mer

Ofte er det strenge begrensninger på artikkelens lengde, og vi vil før eller senere komme i den situasjon at vi må kutte i noe som vi synes det er tilnærmet umulig å forkorte. I så fall er det (også her) naturlig å ta utgangspunkt i konklusjonen og prioritere avsnitt ut ifra i hvilken grad de bygger opp under denne. De avsnittene som ikke vesentlig påvirker konklusjonens gyldighet, kuttet dersom dette ikke forringer artikkelens lesbarhet.

Som tidligere anbefalt bør bakgrunnsstoff og detaljer som vi ikke får plass til i den publiserte artikkelen, men som strengt tatt er påkrevd for at andre skal kunne kontrollere det vi har gjort, dokumenteres på annen måte, gjerne i form av en eller flere vitenskapelige rapporter. Slike underbyggende rapporter gjør det også enklere å tilfredsstille artikkelens pålagte plassbegrensninger, i og med at det vi fjerner fra artikkelen, kan inkluderes i rapportene som vi refererer til i artikkelen.

Er kravet til artikkelens lengde uttrykt i antall sider, og ikke i antall ord, kan det være mye å hente ved å redesigne figurer og diagrammer. Det gjelder i så fall å utnytte plassen uten at det går ut over forståelighet og lesbarhet.

På den annen side er omgåelse av lengdebegrensninger ved å bryte andre pålegg eller redefinere utgivers forhåndsdefinerte formater ingen god ide. For det første blir det som regel oppdaget, med ekstraarbeid for forfatterne selv og forsinkelser som resultat. For det andre, hvis det ikke oppdages, går det gjerne til syvende og sist utover leseren og omdømmet til artikkelen og dens forfattere.

13.2.6 Jeg får ikke artefaktbehovet til å passe inn

Hvis vi ikke finner plass til det identifiserte artefaktbehovet i artikkelen, er det muligens noe som er helt galt, men det kan også være så enkelt som at beskrivelsen av artefaktbehovet er svært omfattende, og at det ganske enkelt tar for mye plass. I så fall må den forenkles eller uttrykkes på et mer overordna nivå. Den fullstendige beskrivelsen kan for eksempel inkluderes i en underbyggende vitenskapelig rapport.

En annen mulig grunn til at artefaktbehovet ikke passer inn, kan være at vårt fokus har endret seg etter at artefaktbehovet ble karakterisert. Det kan også være at artikkelen fokuserer på kun en del av behovet. Det innebærer at vi må prøve å revidere eller oppdatere beskrivelsen av artefaktbehovet.

Det kan også være at vi i utgangspunktet ikke hadde noe klart artefaktbehov, og at det nye artefaktet oppsto ved en tilfeldighet, for eksempel ved eksperimentering med en ny og spennende teknologi. I så fall må det potensielle behovet karakteriseres som en del av artikkelskrivingen.

Det finnes få absolutte regler for artikkelskriving, men i en teknologivitenskapelig artikkel bør introduksjonen alltid inneholde en karakterisering av artefaktbehovet på et rimelig høyt abstraksjonsnivå – i det minste i form av et par, tre setninger. En videre detaljering kan om ønskelig inkluderes som en egen seksjon i innledningsdelen, som illustrert i figur 13.1.

13.2.7 Jeg synes artikkelen blir bedre uten hypoteser

Som forklart tidligere (se seksjon 6.1), i en teknologivitenskapelig publikasjon er det ofte slik at hypotesen følger implisitt fra annen dokumentasjon i artikkelen. Har

vi karakterisert artefaktbehovet samt beskrevet artefaktet vi har oppfunnet, er den implisitte hypotesen at et artefakt bygget i henhold til beskrivelsen tilfredsstillende behovet. Det er helt greit å ikke gjøre eksplisitt bruk av hypotesebegrepet så lenge hypotesen følger implisitt fra annen dokumentasjon i artikkelen.

Fra et presentasjonsmessig perspektiv kan det være fordelaktig å innlemme en overordna hypotese i introduksjonen eller innledningsdelen. Det kan være en tidlig arbeidshypotese eller en påstand om at en bestemt teknologi som artefaktet vårt er basert på, egner seg til å tilfredsstille det identifiserte behovet. Den implisitte hypotesen kan i så fall forstås som en detaljering eller forfining av den overordna hypotesen. At introduksjonen inneholder en overordna hypotese, mens den endelige og detaljerte hypotesen kun er beskrevet implisitt, er ofte en god løsning rent presentasjonsmessig.

13.2.8 Hva skal jeg egentlig med prediksjoner?

I henhold til definisjonene 7.1 og 2.13 er en kvalifisert prediksjon et spesialtilfelle av en hypotese. Som for hypoteser generelt er det ikke nødvendig å formulere prediksjoner eksplisitt hvis de følger implisitt fra annen dokumentasjon, men lesbarheten blir gjerne bedre hvis de uttrykkes eksplisitt. Det er ikke uvanlig at artikkelforfattere omtaler prediksjoner som hypoteser eller underhypoteser, og det er normalt uproblematisk i og med at prediksjoner per definisjon er en spesiell form for hypotese. Det viktige er å gjøre de rette tingene. Hvilke ord og begreper vi benytter, er mindre relevant, og hvilke begreper som er mest egnet, vil også avhenge av fagfelt og hvilken kategori lesere vi adresserer.

Kapittel 14

Teknologivitenskap i en vitenskapsfilosofisk helhet

Dette er, som tidligere nevnt, en bok om teknologivitenskap med spesielt fokus på teknologiforskning. Boka er ment å være et hjelpemiddel for forskere, stipendiater og studenter som ønsker å bedrive eller bedriver teknologiforskning, men som er usikre på hvordan de skal gå frem. Denne boka dreier seg ikke om vitenskapsfilosofi. Ikke desto mindre er det interessant og nyttig å plassere bokas grunnleggende tanker i en vitenskapsfilosofisk helhet. Dette kapitlet prøver å gjøre nettopp det. Seksjon 14.1 gir en oversikt over sentrale vitenskapsfilosofiske retninger med fokus på de siste 100 årene. Fremstillingen er forenklet. Innenfor de ulike retningene fokuserer vi på aspekter av betydning for teknologivitenskap som fremdeles er av relevans i dag. Fremstillingen er også relativt polarisert. For å få frem forskjellene mellom de ulike retningene vektlegges ofte ytterliggående standpunkter. I seksjon 14.2 posisjoneres så teknologivitenskap som definert i denne boka, i det vitenskapsfilosofiske bildet tegnet tidligere i kapitlet.

14.1 Sentrale vitenskapsfilosofiske retninger

Denne seksjonen bygger på flere kilder, men mest på boka *What is this thing called science* [14] forfattet av Alan Chalmers (1939).

14.1.1 Empirisisme

Begrepene *apriorisk* (fra det tidligere) og *aposteriorisk* (fra det senere) brukes innen filosofi for å klassifisere kunnskap eller viten med hensyn til om den er avhengig av erfaring eller ikke:

Definisjon 14.1 Med *apriorisk kunnskap* menes kunnskap som ikke baserer seg på erfaring. Med *aposteriorisk kunnskap* menes kunnskap som baserer seg på erfaring.

Streng empirisme innebærer at kunnskap oppnås kun aposteriorisk – med andre ord, erfaring er den eneste kilden til kunnskap.

Moderne empirisme har sin opprinnelse i den såkalte britiske empirismen. John Locke (1632–1704), som ofte regnes som den britiske empirismens opphavsmann, hevdet at all kunnskap er aposteriorisk. Vi har ingen medfødt kunnskap. Ved fødselen er den menneskelige bevisstheten som et blankt papir, og dette papiret kan kun fylles med erfaring. All kunnskap og alle ideer har sin opprinnelse i erfaring. Erfaring er av to typer, nemlig sansning og refleksjon. Sansning forteller oss om ting og prosesser i den ytre verden, mens refleksjon gjør oss bevisst våre egne mentale prosesser [95].

14.1.2 Induksjonisme

Induksjonisme er en variant av empirisme som går tilbake til Francis Bacon (1561–1626) [46]. Bacon, som var en viktig inspirator for den britiske empirismen, beskriver sin vitenskapelige metode som en prosedyre som systematisk samler informasjon og transformerer den til forståelse. Denne prosedyren kaller Bacon induksjon. Den systematiske innsamlingen av informasjon resulterer i en mengde enkeltobservasjoner – for eksempel n observasjoner av at et bestemt forsøk gir samme resultat. Den resulterende forståelsen er et utsagn med gyldighet utover enkeltobservasjonene – for eksempel at det omtalte forsøket alltid gir samme resultat.

En annen fremtredende induksjonist var John Stuart Mill (1806–1873) [107]. Ifølge Mill er induksjon en forutsetning for all meningsfull kunnskap, inkludert matematikk. Mill hevdet at alle matematiske sannheter, inkludert regler for deduktiv slutning, er generaliseringer fra erfaring og basert på induksjon. At vi forestiller oss noe som logisk og matematisk nødvendig, skyldes en psykologisk mekanisme ved mennesket. Vi er ikke i stand til å se andre muligheter enn de som logikk og matematikk tillater. Mill representerte i så måte en empirisme hvis ekstremisme det er vanskelig å overgå [23].

14.1.3 Positivism

Auguste Comte (1798–1857) regnes som positivismens opphavsmann [9]. Positivism baserer seg på at all ekte kunnskap er vitenskapelig kunnskap, og at slik kunnskap kun kan skaffes til veie ved bruk av streng vitenskapelig metode. Positivism

innebærer en tilnærmet naturvitenskapelig holdning til studiet av mennesket. Dette i motsetning til en normativ holdning, hvor fokus er på hvordan ting bør være.

Comte postulerte at menneskeheten i sin utvikling går gjennom tre suksessive faser, nemlig den teologiske, den metafysiske og den positive. I den positive fasen har teologi og metafysikk blitt erstattet av et hierarki av vitenskaper hvor sosiologi troner på toppen, og matematikk utgjør fundamentet som alle andre vitenskaper baserer seg på.



Figur 14.1 Comtes hierarki av vitenskaper.

Som illustrert i figur 14.1 skiller Comte mellom seks vitenskaper og klassifiserer dem med hensyn til kompleksitet og positivitet (positivitet i betydning eksakthet). Kompleksitet er omvendt proporsjonal med positivitet. Matematikk er mest positiv, mens sosiologi er mest kompleks. En vitenskap bygger på vitenskaper med høyere positivitet og utgjør en basis for vitenskaper med lavere positivitet. For eksempel, kjemi bygger på fysikk, mens kjemi er et fundament for biologi.

14.1.4 Logisk empirisme

Logisk empirisme, alternativt logisk positivisme,¹ betegner en vitenskapsfilosofisk retning, men også en filosofisk bevegelse [16]. Logisk empirisme som filosofisk bevegelse blomstret på 1920- og 1930-tallet med utgangspunkt i Wien og Berlin.

Logisk empirisme kombinerer streng empirisme med formell logikk. For den logiske empirismen var formaliseringen av logikk og matematikk på slutten av 1800- og begynnelsen av 1900-tallet en viktig inspirasjonskilde. Innen logisk empirisme er formell logikk og matematikk instrumenter for å skille det vitenskapelige fra det ikke vitenskapelige. Ved å kombinere Gottlob Freges (1848–1925) tese om at alle

¹ Den sistnevnte termen er vel så mye brukt som den førstnevnte. Den førstnevnte er imidlertid å foretrekke fordi den gir en riktigere posisjonering i forhold til empirisme som definert i seksjon 14.1.1 og positivisme som definert i seksjon 14.1.3.

matematiske sannheter er logiske, med den tidlige Ludwig Wittgensteins (1889–1951) ide om at alle logiske sannheter er logiske tautologier, konkluderte de med at alle utsagn er enten analytiske (apriorisk) eller syntetiske (aposteriorisk). På grunnlag av dette ble det formulert et skille mellom hypoteser som har mening, og dem som ikke har det, i form av det såkalte demarkasjonsprinsippet som sier at et utsagn er meningsfullt kun hvis det er empirisk etterprøvbart. Med andre ord, enhver hypotese som ikke er rent logisk eller ikke lar seg etterprøve empirisk, er meningsløs. Som et resultat av dette ble de fleste metafysiske, etiske, estetiske og andre tradisjonelt filosofiske problemer redusert til pseudoproblemer.

Det at noe er empirisk etterprøvbart, ble tolket forskjellig innenfor bevegelsens ulike retninger. Den mest ekstreme varianten krevde verifikasjon i den betydning at det finnes en endelig prosedyre for å avgjøre om hypotesen er sann eller ikke. Demarkasjonsprinsippet blir da egentlig et verifikasjonsprinsipp.

14.1.5 Falsifikasjonisme

Falsifikasjonisme er en vitenskapelig retning som tar skarp avstand fra kravet om verifikasjon. Falsifikasjonisme innebærer at en vitenskapelig teori aldri kan verifiseres – den kan kun falsifiseres. Karl Popper regnes som falsifikasjonismens opphavsmann.

Kravet om en endelig prosedyre for å avgjøre om en hypotese er sann eller ikke, er veldig strengt. Det medfører for eksempel at universelle hypoteser over uendelig mange fenomener ikke er meningsfulle. Med andre ord, følgende hypotese, som i henhold til legenden ble formulert og testet² av Galileo Galilei fra det skjeve tårn i Pisa, er ikke vitenskapelig:

Hvis to kanonkuler med ulik masse slippes fra toppen av det skjeve tårn i Pisa, vil tiden de bruker inntil de når bakken, være identisk.

Selv om vi gjentar eksperimentet et høyt antall ganger, og får det forventede resultatet hver eneste gang, kan vi aldri være helt sikre på at hypotesen er sann. Det kan jo for eksempel tenkes at vi får det predikerte resultatet kun hvis kulene slippes ved bestemte tidspunkt, og siden det finnes en uendelighet av tidspunkter som kulene kan slippes på, er det umulig å teste alle.

Problemet med universelle utsagn var de logiske empiristene klar over, og det ble som nevnt over foreslått flere svakere varianter av demarkasjonsprinsippet. Popper gikk i så måte lengst av alle og innførte et falsifikasjonsprinsipp [68].

Ifølge Popper er en hypotese meningsfull hvis det finnes en potensiell observasjon eller en mengde potensielle observasjoner som er inkonsistent med hypotesen.

² Opprinnelsen til legenden er en biografi publisert av en av Galileis assistenter. Mange historikere tviler på at dette eksperimentet fant sted [57]. Muligens har Galilei fått æren for et tilsvarende eksperiment utført av andre fra et kirkebygg i Delft. Galilei utførte imidlertid tilsvarende eksperimenter basert på et skrått plan [42].

Med hensyn til falsifikasjonsprinsippet er hypotesen om kanonkulene meningsfull siden alle potensielle observasjoner hvor kanonkulene bruker ulik tid, er inkonsistente med hypotesen.

Selv om falsifikasjonisme løser problemet med universelle hypoteser, har også falsifikasjonismen sine svakheter. Et vesentlig problem er at interessante hypoteser svært sjelden står på egne ben. De avhenger nesten alltid av antagelser og omliggende teorier. For eksempel så avhenger hypotesen om de to kanonkulene av antagelsen at kanonkuler er så tunge at effekten av luftmotstand samt vær og vind er neglisjerbar. Problemet med slike avhengigheter er at hvis en observasjon ikke stemmer med hypotesen, er det ikke nødvendigvis hypotesen som er feil. Det kan like godt være en antagelse vi har gjort, eller den omliggende teorien vi har basert oss på, som ikke holder.

Dette virker kanskje ikke som noe stort problem for hypotesen over, men den er jo egentlig bare et spesialtilfelle av den mer generelle hypotesen om at tyngdekraften er uavhengig av masse. Skal vi teste den generelle hypotesen også for svært lette objekter, må vi enten fjerne luften, eller beregne effekten av luftmotstanden. I begge tilfeller er vi avhengige av en omliggende teori. Med andre ord, observasjonen falsifiserer teorien som helhet og gir i mange tilfeller lite informasjon om hvor skoen trykker. Eksempel 3.3, hvor vi beskrev hvordan planeten Neptun ble oppdaget fordi Uranus' bane ikke var slik den burde være i henhold til Newtons gravitasjonslover, illustrerer dette. Avvikene i Uranus' bane kan tolkes som en falsifikasjon av Newtons gravitasjonslover, men her var det den omliggende teorien om solsystemets bestanddeler som var problemet. På den annen side, som beskrevet i eksempel 2.5, avvikene i Merkurs bane i forhold til Newtons gravitasjonslover var en reell falsifikasjon av Newtons lover. Men det var det ingen som trodde på, og astronomene lette iverdig etter planeten Vulkan, som skulle være årsaken til avviket.

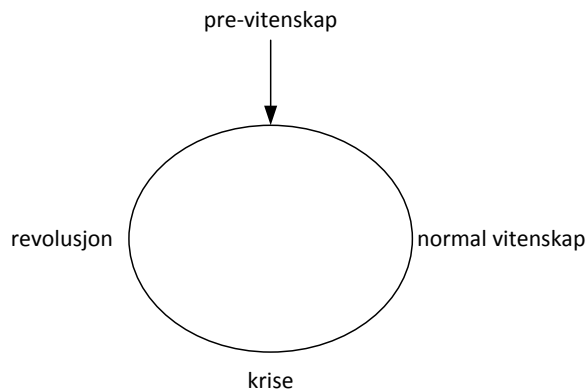
14.1.6 Paradigmetenkning

Som vi har sett, er heller ikke falsifikasjonisme uproblematisk når det kommer til stykket. Thomas Kuhn (1922–1996) var også kritisk til falsifikasjonismen, men hans kritikk gikk først og fremst på manglende samsvar mellom falsifikasjonisme og historiske realiteter [6]. En vitenskaps progresjon i henhold til klassisk falsifikasjonisme kan summeres opp som følger [14]: Vitenskap tar utgangspunkt i problemer. Forskeren foreslår falsifiserbare hypoteser med hensyn til hvordan et problem kan løses. Den foreslåtte hypotesen blir deretter kritisk evaluert. Noen hypoteser vil en evaluering raskt eliminere, mens andre overlever den innledende fasen. Disse blir så utsatt for en enda mer kritisk evaluering. Når en hypotese som har motstått et bredt spekter av detaljerte tester, til slutt falsifiseres, har det oppstått et nytt problem som forhåpentligvis går langt utover det opprinnelige, nå løste problemet. Det nye problemet gir opphav til nye hypoteser, som igjen utsettes for testing, og så videre. Slik fortsetter det i det uendelige. Det kan aldri sies om en teori at den er sann, men

forhåpentligvis at den er bedre enn sin forgjenger da den har motstått flere tester enn denne.

Dette stemmer dårlig med hvordan vitenskapene har utviklet seg rent historisk. Faktisk er det slik at hvis tidligere tiders vitenskapsmenn og -kvinner hadde basert seg på falsifikasjonisme, ville de fleste av våre mest fruktbare teorier aldri fått utvikle seg. Som vi har sett, avviket i Merkurs bane som ble oppdaget i 1859, førte ikke til at Newtons gravitasjonslære ble forkastet. I stedet startet man søket etter Vulkan. Avviket i Merkurs bane lot seg først forklare ved hjelp av Einsteins relativitetsteori.

Kuhns syn på vitenskapens utvikling er illustrert i figur 14.2. Et paradigme er



Figur 14.2 Kuhns syn på vitenskapens utvikling.

et regime som forskning utføres innenfor. Et paradigme innbefatter en teori og en metodikk for testing og evaluering. Teorien er ikke nødvendigvis uten problemer og anomalier, men den er tilstrekkelig solid til å muliggjøre fruktbar forskning. Et paradigme kan fungere utmerket over lang tid. Newtons gravitasjonslære er et godt eksempel i så måte. Den muliggjorde store fremskritt innen fysikk gjennom flere 100 år. Innenfor et paradigme bedrives såkalt normal vitenskap. Etter hvert som den normale vitenskapen skrider frem, kommer vi til et punkt hvor det blir vanskelig å fortsette innenfor det samme paradigmet. Vitenskapen er i krise. Som et resultat av denne krisen oppstår en vitenskapelig revolusjon som gir opphav til et nytt paradigme der forskerne vil bedrive normal vitenskap inntil neste krise, og så videre. Innføringen av Einsteins relativitetsteori, som revolusjonerte fysikken, er et eksempel på et paradigmeskifte, og den første halvdel av 1900-tallet var kanskje fysikkens mest fruktbare periode noensinne.

Et problem med Kuhns modell for vitenskapenes utvikling er hvordan man presenterer paradigmeuavhengig progresjon. Skal vi hevde at et paradigme er bedre enn et annet paradigme, må det finnes paradigmeuavhengige kriterier som de kan måles etter. Kuhns egne publikasjoner er uklare med hensyn til dette. Det finnes formuleringer i hans publikasjoner som indikerer at Kuhn opprinnelig forfektet re-

lativisme, men andre ord at kvaliteten av et paradigme kan måles kun i konteksten av et paradigme. Senere brukte han mye tid på distansere seg fra en slik tolkning.

Et annet eksempel på paradigmetenkning er Imre Lakatos' (1922–1974) såkalte forskningsprogrammer [64]. Et forskningsprogram er grovt sagt et paradigme der de ulike bestanddelene er vektet med hensyn til betydning eller viktighet. Vektingen er ment å representere at visse lover og prinsipper er mer fundamentale enn andre. Spesielt fremhevet Lakatos eksistensen av en hard kjerne som den definerende karakteristikken til et forskningsprogram. I motsetning til Kuhn var Lakatos en varm tilhenger av falsifikasjonisme. I og med at ulike deler av et forskningsprogram har ulik vektning, er det blant de mer perifere og mindre grunnleggende delene av et forskningsprogram vi leter etter feil når en hypotese falsifiseres. På den måten er det i praksis ikke en teori i sin helhet som falsifiseres, som Poppers kritikere hevder, men de delene av teorien vi har minst tiltro til. Lakatos så først og fremst sin vitenskapsfilosofi som et redskap for vitenskapshistorikere og ikke som en metodikk for pågående forskning – med andre ord, som et verktøy for å forklare utviklingen innen en vitenskap retrospektivt.

14.1.7 Epistemologisk anarkisme

Paul Feyerabend (1924–1994) hevdet at det ikke finnes nyttige regler som uten unntak styrer en vitenskaps progresjon eller akkumulasjon av kunnskap. Vitenskapens historie er så kompleks at hvis vi insisterer på eksistensen av en generell metodikk som skal følges slavisk og ikke hemme vitenskapelig progresjon, vil den bestå av kun en eneste regel, nemlig det fullstendig unyttige utsagnet «alt er lov». Dette kalte han epistemologisk anarkisme [70].

Ifølge Feyerabend er vellykkede forskere metodologiske opportunisten som tar seg hvilke friheter som helst så lenge de er nyttige. Som eksempel tok Feyerabend utgangspunkt i Galileo Galilei og viste hvordan han gjorde bruk av så vel retorikk, propaganda og andre ikke helt stuerene knep for å bygge opp under den heliosentriske teorien for solsystemet.

Feyerabend fremmet et eksplisitt relativistisk syn på vitenskapens historie. Vitenskapene utvikler seg og nye paradigmer oppstår, men vi kan ikke påstå at et paradigme er bedre enn noe annet, da dette forutsetter eksistensen av en paradigmeuavhengig målestokk. Vitenskapene er ifølge Feyerabend kun en av mange former for tenkning som har blitt utviklet av mennesket, og ikke nødvendigvis den beste. Vitenskap er samlinger av teorier, praksiser, forskningstradisjoner og synspunkter hvis anvendelsesdomene er uklart og nytte svært varierende.

14.1.8 *Probabilisme*

Som vi var inne på i seksjon 14.1.6, foreslo Lakatos å vekte de ulike bestanddelene innenfor et paradigme med hensyn til betydning og viktighet. Vektingen var ment å representere at visse prinsipper og lover er mer fundamentale enn andre. Vektingen kan forstås som et slags mål på tiltro – en tiltro som vil variere over tid. Tiltroen til teorien om Higgs-partikkelen som ble fremlagt i 1964, økte for eksempel vesentlig da CERN i 2013 offentliggjorde empiriske bevis for eksistensen av en slik partikkel. Tilsvarende, på midten av 1800-tallet var tiltroen til Newtons gravitasjonslære som universelt gyldig tilnærmet absolutt. I dag har vi fremdeles høy tiltro til Newtons lære, men kun for et begrenset anvendelsesområde.

Tiltro måles ofte i form av sannsynligheter. Det har gitt opphav til den vitenskapsfilosofiske retningen probabilisme. Det er vanlig å skille mellom to hovedvarianter [91], nemlig:

- *Objektiv probabilisme*: Sannsynligheter representerer hva en rasjonell agent kan slutte seg til basert på tilgjengelig kunnskap.
- *Subjektiv probabilisme*: Sannsynlighetene representerer subjektiv tiltro.

Det finnes ulike undervarianter av begge. De avviker med hensyn til tilordning og representasjon av tiltro samt regelverk for resonnement og deduksjon.

Objektiv probabilisme er restriktiv, mens subjektiv probabilisme er liberal. Jeg som subjekt kan ha høy tiltro til at jorda er flat. Dette utsagnet kan derfor tilordnes høy sannsynlighet innen subjektiv probabilisme. Denne tilordningen lar seg imidlertid ikke begrunne rasjonelt og er derfor feil fra et objektivt ståsted.

14.1.9 *Eksperimentalisme*

Eksperimentalisme er en samlebetegnelse på vitenskapsfilosofi som legger spesielt stor vekt på verdien av eksperimenter og stiller spørsmål ved nytten av teori. Ian Hacking (1936) og hans eksperimentelle realisme [33] er en kjent representant for slike synspunkter. Eksperimentalisme tar utgangspunkt i eksistensen av eksperimenter uavhengig av storskala teorier. Eksperimentalistene fremhever at vi har tilgang til et bredt spekter av praktiske strategier, som muliggjør etablering av eksperimentelle fakta, og som ikke avhenger av teorier i særlig grad. Satt på spissen, eksperimentalistene ser på vitenskapelige fremskritt som en gradvis akkumulering av eksperimentell kunnskap, en kunnskap som ikke trues av vitenskapelige revolusjoner.

Deborah Mayo (1951) argumenterer [58] for eksperimenters liv uavhengig av storskala teorier. Hun fremhever at:

- Mange eksperimenter er motivert ut ifra helt andre ting enn uttesting eller bekrefteelse av teori. Det er vi teknologivitenskapelige forskere godt kjent med. Våre

eksperimenter dreier seg som regel om evaluering av en teknologi vi selv har oppfunnet.

- Eksperimentelle data kan rettfærdiggjøres uavhengig av teori. Et eksperiment utført av kompetente forskere har et veldefinert oppsett, dokumentert på en slik måte at eksperimentet kan gjentas av andre. Et eksperiment går ut på å stimulere dette oppsettet via gitte parametere og observere effekten. Disse observasjonene er teoriuavhengige selv om deres tolkning ikke er det.
- Eksperimentell kunnskap består selv om teorier endrer seg. Anta at vi har gjort et eksperiment for å teste ut en bestemt teori. Hvis teorien endrer seg, er kanskje eksperimentet ikke like relevant som tidligere, men selve oppsettet vil fremdeles «eksistere», gitt at det er dokumentert på en repeterbar måte. Resultatene fra eksperimentet vil også eksistere – det vil si, hvilke observasjoner som ble gjort for hvilke stimuli. Det som muligens ikke overlever, er tolkningen av disse resultatene.

Kort oppsummert, eksperimentalisme fremhever eksperimentelle data som vitenskapens harde kjerne – den kunnskapen som overlever fra et vitenskapelig paradigme til det neste.

14.2 Teknologivitenskap i dette bildet

Fremstilling av ny teknologi eller artefaktoppfinnelse har, i forhold til sin sentrale rolle som drivkraft i samfunnsutviklingen, i forbausende liten grad vært gjenstand for selvstendige vitenskapsfilosofiske studier. En årsak er nok at teknologivitenskap i vår betydning av begrepet har blitt oppfattet som naturvitenskap og ikke har bidratt med vitenskapsfilosofiske problemstillinger utover naturvitenskapens. Teknologi som sådan, teknologi som alt eksisterer, har derimot tiltrukket seg mye interesse, spesielt i senere år. Populære filosofiske retninger inkluderer:

- Teknologisk kunnskap i relasjon til andre typer kunnskap.
- Teknologi i relasjon til den menneskelige natur.
- Teknologi som et karakteristika ved det moderne samfunnet.

Se for eksempel [62], [77].

Denne boka begrenser seg imidlertid til teknologivitenskap. Målsetningen med det følgende er å posisjonere teknologivitenskap som definert og presentert av oss i denne boka i det vitenskapsfilosofiske bildet skissert i første del av kapitlet.

14.2.1 Teknologivitenskap og empirisisme

Teknologivitenskap er fundert på empiri og gir opphav til aposteriorisk kunnskap. I hvilken grad teknologivitenskap også innbefatter apriorisk kunnskap, er fra vårt stå-

sted lite relevant. Teknologiforskning gjør bruk av logikk, matematikk og statistikk, og disse disiplinene baserer seg på aksiomer og deduksjonsprinsipper som mange oppfatter som aprioriske. Tolkningen av disse i relasjon til erfaring er imidlertid ikke av praktisk betydning for en teknologiforsker. Med andre ord, innholdet i denne boka og stoffets relevans er egentlig uavhengig av om vi aksepterer eksistensen av apriorisk kunnskap eller ikke.

14.2.2 Teknologivitenskap og induksjonisme

Fra Bacon og helt frem til begynnelsen av 1900-tallet (og Einsteins relativitetsteori) var en induksjonistisk tankegang fremherskende i vitenskapelig metodelære. I hele denne perioden mente man at det var mulig å komme frem til sikker kunnskap ved induksjon [28]. Et typisk induksjonistisk syn på vitenskapelig fremgangsmåte kan summeres opp som følger:

- *Trinn 1:* Observasjoner samles uten bruk av seleksjon eller apriorisk gjetning med hensyn til viktighet.
- *Trinn 2:* Observasjonene analyseres, sammenlignes og klassifiseres, uten andre hypoteser eller postulater enn sunn fornuft.
- *Trinn 3:* Fra de analyserte og klassifiserte observasjonene gjøres generaliseringer induktivt.
- *Trinn 4:* Videre forskning vil være både deduktiv og induktiv. Det kan deduseres fra generaliseringer, og det kan generaliseres på grunnlag av deduksjoner.

Hadde denne boka basert seg på induksjonisme, ville kapittel 6 fokusert på induksjon – med andre ord, beskrevet en prosess beslektet med den over. Det gjør imidlertid kapittel 6 ikke, og det er det gode grunner for.

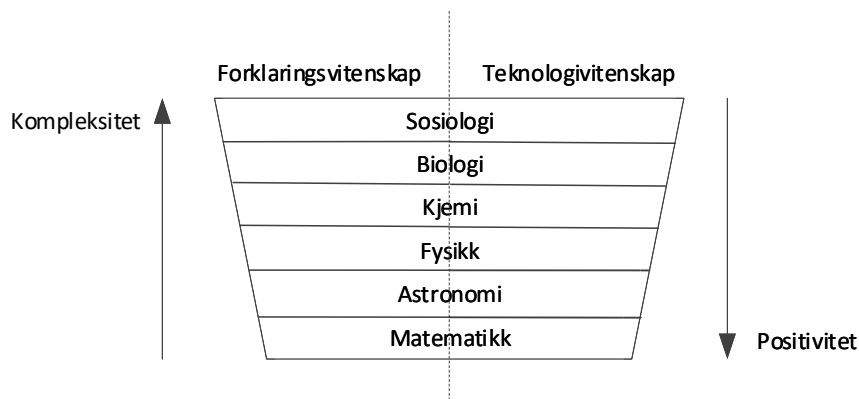
Et vesentlig problem med trinn 1 er at det finnes en uendelighet av mulige observasjoner. Det er derfor lite effektivt å samle observasjoner uten en forutgående ide om hva de skal brukes til. Det vil si, en hypotese om hvilke observasjoner som er nyttige. Med hensyn til trinn 2 støter vi på et tilsvarende problem. Det er ikke praktisk å analysere, sammenligne og klassifisere observasjoner uten en forutgående ide eller hypotese om hva som er viktig. Det finnes uendelig mange klassifikasjoner og måter å relatere på. Med hensyn til trinn 3 er problemet hvordan vi kommer fra et endelig antall observasjoner til et utsagn om en uendelig eller veldig stor populasjon. Uttrykt på en annen måte, selv om samme forsøk gir samme resultat en million ganger på rad, trenger det ikke alltid å gjøre det. Siden også trinn 4 involverer induktiv generalisering, har vi samme problem der.

Å forkaste induksjon som forskningsmetode er ikke uforenlig med at den menneskelige hjerne implisitt benytter seg av prinsipper som minner om induksjon for å løse problemer. Den britiske empirisisten David Hume (1711–1776) tok for eksempel sterk avstand fra induksjonsprinsippet, men aksepterte samtidig induksjon som en psykologisk mekanisme som vi vanskelig kan overleve uten [36].

14.2.3 Teknologivitenskap og positivisme

Teknologivitenskap kan relateres til Comtes hierarki av vitenskaper ved å klassifisere teknologivitenskap som en del av sosiologi eller som en åttende vitenskap øverst i hierarkiet. Teknologivitenskap er helt avhengig av fysikk så vel som kjemi. Laserteknologi ville ikke vært mulig uten forrige århundres fremskritt innen kvantefysikk, mens moderne farmasi bygger på kjemi. En genmodifisert tomat er også et artefakt. Dens design er helt avhengig av biologi. Teknologivitenskap innbefatter også sosiologi, da teknologi jo har som mål å tilfredsstillte menneskelige behov. Vi kan derfor argumentere for at teknologivitenskap i hvert fall er minst like kompleks som sosiologi. Om den er mer kompleks, kan diskuteres. Teknologiforskning representerer for eksempel prosesser som helt klart er innenfor sosiologiens interessefelt, så kanskje er det mest korrekt å se teknologivitenskap som en del av sosiologi hvis vi baserer oss på Comtes klassifisering og begrepsbruk.

Figur 14.3 presenterer en måte å relatere teknologivitenskap på til Comtes hierarki. Den uttrykker at teknologivitenskap i likhet med forklaringsvitenskap kan struktureres i henhold til Comtes hierarki.



Figur 14.3 Teknologivitenskap i Comtes hierarki av vitenskaper.

Comte hevdet at vitenskapenes klassifisering er en forutsetning for en teori om teknologi. Desto mer komplekst et fenomen er (komplekst i Comtes betydning, se figur 14.3), desto lettere lar det seg modifisere. Høy kompleksitet gjør det lettere å erstatte en naturlig orden med en kunstig menneskelig orden, det vil si et artefakt [9].

Teknologivitenskap er forenlig med positivisme i vektleggingen av vitenskapelig metode. Comtes tilnærmet naturvitenskapelig holdning til forståelse av mennesket og samfunnet er derimot problematisk fra et teknologivitenskapelig ståsted. Som beskrevet tidligere ved utprøving av artefakter i realistiske sammenhenger er ofte aksjonsforskning kombinert med kvalitative studier basert på dybdeintervjuer den beste fremgangsmåten. En rent naturvitenskapelig tilnærming vil i en slik sammen-

heng fungere dårlig da det ganske enkelt er for mange parametere til at vi kan kontrollere alt.

14.2.4 Teknologivitenskap og logisk empirisme

Teknologivitenskapen lar seg ikke forene med verifikasjon i streng logisk empiristisk betydning. Menneskelige behov som teknologi er ment å tilfredsstille, svarer ofte til universelle hypoteser over uendelige store mengder, og slike utsagn lar seg ikke verifisere en gang for alle. Å skille det vitenskapelige fra det ikkevitenskapelige, det metafysiske, er imidlertid viktig også innen teknologivitenskap. Med andre ord, selv om teknologivitenskap ikke kan leve med et strengt krav om verifikasjon, har teknologivitenskapen i likhet med andre vitenskaper behov for å kunne filtrere vekk det vitenskapelig uakseptable i form av et slags demarkasjonsprinsipp. Skal vi for eksempel lage nye artefakter basert på eksisterende teknologi, er det viktig at den eksisterende teknologien har de egenskapene den hevdes å ha. Det er det vanskelig å ta stilling til hvis det ikke finnes etterprøvbar dokumentasjon med hensyn til testing og evaluering. Analogt, skal vi overbevise potensielle brukere om nytteverdien av en nyskapning, er etterprøvbar dokumentasjon viktig.

14.2.5 Teknologivitenskap og falsifikasjonisme

Falsifikasjon er et sentralt prinsipp for evaluering innen all teknologiforskning, selv om det ikke nødvendigvis omtales som det. Testing er i så måte et godt eksempel. Kapitlene 7–10 er basert på en falsifikasjonistisk tankegang. Termen falsifikasjonisme anvendes imidlertid også i en videre betydning som en forklaringsmodell for vitenskapenes utvikling. I denne boka tar vi egentlig ikke stilling til dette. Vi er først og fremst opptatt av prosessen fra karakterisering av artefaktbehov til evaluering og publisering. Hvordan teknologivitenskapen har utviklet seg historisk og vil utvikle seg videre, er i liten grad et tema.

Falsifikasjonisme har blitt kritisert fordi en falsifikasjon ikke nødvendigvis innebærer at den aktuelle hypotesen er falsk. Det kan like godt være en antagelse som ikke holder, eller at man har basert seg på en teori som har svakheter av betydning for falsifikasjonen. Rent praktisk er ikke dette et stort problem så lenge vi nøye dokumenterer hvilke antagelser vi gjør, og hvilke teorier eller deler av teorier vi baserer oss på.

14.2.6 Teknologivitenskap og paradigmetenkning

Som nevnt over er vi i denne boka lite opptatt av teknologivitenskapens historiske utvikling. Teknologivitenskap, i den grad den er beskrevet av oss, er derfor forenlig med falsifikasjonisme så vel som Kuhns eller Lakatos' paradigmetenkning. Med hensyn til Kuhns prosess for en vitenskaps utvikling er det først og fremst fasen med normalvitenskap som vi adresserer.

14.2.7 Teknologivitenskap og epistemologisk anarkisme

I likhet med andre vitenskaper er teknologivitenskap ikke et homogent, konfliktfritt hele. Det er mulig å bedrive teknologiforskning på et utall måter, og vi kan lykkes som teknologivitenskapelige forskere selv om vi bryter anbefalingene og retningslinjene postulert i denne boka. Boka gir likevel anbefalinger og retningslinjer fordi jeg er av den oppfatning at de for de fleste forskere er effektivitetsfremmende så vel som kvalitetshevende, og ikke fordi det ikke er mulig å forske på andre måter.

Personlig har jeg liten forståelse for Feyerabend's påstand om fravær av paradigmeuavhengig progresjon. Teknologi som vi bygger i dag, var helt utenkelig for noen få årtier siden. På den annen side kan vi vanskelig se for oss hva slags teknologi vi for eksempel kunne bygget på 1700-tallet som vi ikke er i stand til å bygge i dag. Å hevde at dette ikke representerer progresjon, faller på sin egen urimelighet.

Jeg har heller ingen forståelse for at det ikke er mulig å skille teknologivitenskap fra ikke-vitenskap. Jeg aksepterer at teknologiforskning kan bedrives på mange ulike måter, og at det ikke nødvendigvis er en god ide å legge begrensninger på forskeren i den kreative fasen. Det som skiller teknologivitenskap fra ikke-vitenskap, er først og fremst fokuset på å skape noe fundamentalt nytt i form av et artefakt, samt etterprøvbare evaluering av dette nye. Uten det første kan ikke teknologiforskning skilles fra industriell teknologiutvikling hvor evalueringen tilfredsstillende vitenskapelige krav til etterprøvbarehet. Uten det andre kan ikke teknologivitenskap skilles fra teknologiutvikling hvor evalueringen ikke holder mål. Det markedsføres stadig nye artefakter som sies å ha all verdens positive egenskaper, uten at det finnes etterprøvbare dokumentasjon som sannsynliggjør dette.

14.2.8 Teknologivitenskap og probabilisme

Alle som har bil med dieselmotor, vil trolig tilordne utsagnet at dieselmotorer egner seg som drivkraft for kjøretøy, sannsynlighet 1. En dieselmotor kan vi ta og føle på og personlig observere at virker. Slik er det med svært mye teknologi. Teknologi er ofte håndfast, og vi kan selv gjøre bruk av den. En probabilistisk tankegang kan derfor oppfattes som søkt.

På den annen side er probabilistisk argumentasjon gjerne påkrevd for å utvikle teknologi. En teknologis pålitelighet er ofte karakterisert probabilistisk eller i det minste frekventistisk. Hva er sammenhengen mellom dette og den vitenskapsfilosofiske retningen probabilisme?

Spørsmålet er langt fra trivielt. Det er imidlertid viktig å skille mellom probabilistiske uttrykk i hypotesen og en probabilistisk karakterisering av hypotesens sannhet. For en sekskantet terning kan vi postulere følgende hypotese: Sannsynligheten for at et kast gir 1, 2, eller 3, er 0,5. Vår tiltro til denne hypotesen er tilnærmet 1. Det er først og fremst den siste bruken av sannsynlighet som probabilismen er opptatt av – sannsynlighet som et mål på tiltro.

14.2.9 Teknologivitenskap og eksperimentalisme

Teknologivitenskap lar seg vanskelig forene med eksperimentalisme av den enkle grunn at mange teknologibehov forutsetter kunnskap i form av teorier som går langt utover hva som er tilgjengelig i form av teoriuavhengig, akkumulert, eksperimentell kunnskap. Ikke minst dreier slike behov seg om fremtiden. Når vi bygger et atomkraftverk, er vi opptatt av sikker lagringshåndtering i tusenvis av år. Vi kan ikke ta stilling til slike behov uten omfattende teorier om jordas geologiske utvikling. Det samme gjelder romforskning. Å lykkes med å bygge en satellitt for utforskning av fremmede himmellegemer forutsetter storskala teorier.

Som for andre vitenskaper er teori også en viktig fasilitator for nye oppfinnelser. Kvantedatamaskiner [43] hadde ikke vært et forskningsfelt i dag uten eksistensen av kvanteteori.

Et alternativ til akkumulert, eksperimentell kunnskap som paradigmeuavhengig kunnskap kan være akkumulert teknologi. For eksempel, det er mulig å tenke seg at verdien til et paradigme er lik teknologien paradigmet ga opphav til.

Tillegg A

Oversikt over definisjoner

Alternativ hypotese En *alternativ hypotese* karakteriserer alternativet til nullhypotesen, altså det alternativet vi prøver å finne belegg for.

Anonymiserte data *Anonymiserte data* er data hvor personidentitet ikke kan utledes, verken direkte, indirekte eller via koblingsnøkkel.

Anvendt forskning *Anvendt forskning* er forskning for å en finne en løsning på et praktisk menneskelig problem.

Aposteriorisk kunnskap Med *aposteriorisk kunnskap* menes kunnskap som baserer seg på erfaring.

Apriorisk kunnskap Med *apriorisk kunnskap* menes kunnskap som ikke baserer seg på erfaring.

Arbeidshypotese En *arbeidshypotese* er en foreløpig hypotese som vi aksepterer som grunnlag for videre forskning.

Artefakt Et *artefakt* er en ting, et objekt eller et fenomen skapt av mennesker.

Aidentifiserte data *Aidentifiserte data* er data hvor identifikasjon av enkeltpersoner er vanskeliggjort ved at personidentitet er representert med en kode hvis koblingsnøkkel er lagret separat.

Begrepsgyldig evaluering En *evaluering* er *begrepsgyldig* hvis evalueringens operasjonalisering av abstrakte begreper, konstrukter og relasjoner fra omliggende teori, hypoteser og antagelser, i form av målepunkter, indikatorer og metrikker, er riktig.

Behandlede data *Behandlede data* er data som har oppstått gjennom fortolkning og prosessering.

Datasimulering *Datasimulering* innebærer å simulere et system eller artefakt ved hjelp av et dataprogram.

Direkte identifiserbare data *Direkte identifiserbare data* er data hvor enkeltpersoners identitet klart fremgår.

Dobbeltpublisering *Dobbeltpublisering* er gjenbruk av eget allerede publisert materiale på en slik måte at dette materialet i den nye publikasjonen fremstår som nytt og originalt.

Dybdeintervju *Dybdeintervju* innebærer strukturert innsamling av en (som regel større) mengde informasjon fra relativt få enkeltpersoner.

Effekt mål Et *effekt mål* beskriver hvorfor prosjektet er etablert, og det beskriver ofte en ønsket fremtidig situasjon som skal oppnås ved å gjennomføre prosjektet.

Eksistensiell hypotese En *eksistensiell hypotese* er en påstand om at det i en spesifikk populasjon finnes minst ett eksemplar med en bestemt egenskap.

Eksperimentell simulering En *eksperimentell simulering* er et forsøk som simulerer en relevant del av virkeligheten under kontrollerte betingelser.

Eksternt gyldig evaluering En *evaluering* er *eksternt gyldig* hvis domenet, situasjonen, konteksten og tidsaspektet som den påstås å gjelde eller være relevant for, er riktig karakterisert.

Empirisk hypotese En *empirisk hypotese* er en hypotese om virkeligheten.

Erkjennelse *Erkjennelse* er virksomhet for å oppfatte noe som det er (i virkeligheten), uavhengig av det erkjennende subjektet.

Etterprøvbarehet *Etterprøvbarehet* innebærer at andre forskere skal kunne kontrollere våre resultater.

Faktum Et *faktum* er et saksforhold som er sant.

Feltekspesiment Et *feltekspesiment* er et forsøk som utføres i en naturlig omgivelse, men hvor forskeren griper inn og manipulerer visse faktorer.

Feltstudie En *feltstudie* innebærer direkte observasjon av et system, med minst mulig innblanding fra forskeren.

Forklaringsvitenskap *Forklaringsvitenskap* er vitenskap der man fokuserer på å forstå virkeligheten som den er.

Forskning *Forskning* er en systematisk prosess for frembringelse av ny kunnskap.

Forskningsmetode En *forskningsmetode* er en spesialisert fremgangsmåte for å bedrive forskning.

Grunnforskning *Grunnforskning* er forskning med det formål å tilfredsstillere behovet for å vite.

Gyldig evaluering En *evaluering* er *gyldig* (også kjent som *valid*) hvis den evaluerer det den er ment å evaluere.

Hypotese En *hypotese* er en kvalifisert gjetning uttrykt som en påstand.

Implikasjon En påstand er en *implikasjon* (eller impliseres) av en annen påstand hvis den (førstnevnte påstanden) følger med nødvendighet (fra den sistnevnte påstanden).

Implikasjonskrav for eksistensiell hypotese En prediksjon tilfredsstiller *implikasjonskravet for eksistensielle hypoteser* hvis hypotesen er en implikasjon av prediksjonen, antagelser og fakta i fellesskap.

Implikasjonskrav for statistisk hypotese En prediksjon tilfredsstiller *implikasjonskravet for statistiske hypoteser* hvis hypotesen, antagelser og fakta i fellesskap impliserer at sannsynligheten for at prediksjonen feilaktig falsifiseres, er mindre enn eller lik signifikansnivået.

Implikasjonskrav for universell hypotese En prediksjon tilfredsstiller *implikasjonskravet for universelle hypoteser* hvis den er en implikasjon av hypotesen, antagelser og fakta i fellesskap.

Implisitt hypotese En *implisitt hypotese* er en hypotese som følger implisitt eller kan deduseres fra annen tilgjengelig dokumentasjon.

Initiell hypotese En *initiell hypotese* er en hypotese som kan avledes fra problemanalysen (det vil si dokumentasjonen fra problemanalysen).

Innovasjon En *innovasjon* er en ny vare, en ny tjeneste, en ny produksjonsprosess, anvendelse eller organisasjonsform som er lansert i markedet eller tatt i bruk i produksjonen for å skape økonomiske verdier.

Interessent En *interessent* er en medeier, en som deltar i, eller har interesser i, et foretagende.

Internt gyldig evaluering En *evaluering* er *internt gyldig* hvis de kausale relasjonene som evalueringen påstår å ha etablert, er reelle.

Intern-konsistens-pålitelig evaluering En *evaluering* er *intern-konsistens-pålitelig* hvis det er et naturlig samsvar mellom verdissetingsledd, og mellom verdissetingsledd og verdissetingen som de inngår i.

Inter-observatør-pålitelig evaluering En *evaluering* er *inter-observatør-pålitelig* hvis det er samsvar mellom observasjonene (vurderingene/estimeringene) innad i evalueringens observatørgrupper.

Kausal relasjon En *relasjon* mellom to hendelser *A* og *B* er *kausal* hvis (1) det er samvarians mellom *A* og *B* i betydning *B* inntreffer hver gang *A* inntreffer; (2) tidsmessig inntreffer alltid *A* før *B* – det vil si at *A* og *B* er strengt ordna i tid; (3) det finnes ingen plausibel alternativ forklaring på samvariansen mellom *A* og *B*.

Konklusjonsgyldig evaluering En *evaluering* er *konklusjonsgyldig* hvis konklusjonene som trekkes, er riktige med hensyn til de observasjonene som er gjort.

Kunnskap *Kunnskap* er viten, innsikt, kjennskap, det man vet.

Laboratorieeksperiment Et *laboratorieeksperiment* er et forsøk hvor forskeren har stor grad av kontroll og mulighet til å isolere de variablene som undersøkes.

Logikk *Logikk* betegner ikke-empirisk argumentasjon basert på sunne regler for tenkning og argumentasjon.

Løsningsorientert hypotese En *løsningsorientert hypotese* er en hypotese som påstår noe mer enn det som kan deduseres fra problemanalysen, noe som potensielt bringer oss i rett retning.

Matematikk *Matematikk* betegner ikke-empirisk undersøkelse av abstrakte strukturer, deres egenskaper og mønstre.

Metodeorientert hypotese En *metodeorientert hypotese* påstår noe om hvilken forskningsmetode som egner seg for å løse et bestemt problem.

Metodetriangulering *Metodetriangulering* innebærer at bestemte fenomener studeres fra ulike synsvinkler og synspunkter, og at problemstillingen belyses ved hjelp av forskjellige metoder.

Negasjon En påstand er en *negasjon* av (eller negerer) en annen påstand hvis førstnevnte uttrykker nøyaktig det motsatte av sistnevnte.

Nullhypotese En *nullhypotese* karakteriserer nulltilstanden, for eksempel dagens situasjon, den oppfatningen som er gjengs rådende nå, eller det som alt er mulig med eksisterende løsninger.

Parallele-metoder-pålitelig evaluering En *evaluering er parallelle-metoder-pålitelig* hvis den gir et tilnærmet identisk resultat hvis en verdissettingsmetode erstattes med en variant av den samme verdissettingsmetoden.

Patent Et *patent* beskytter en konkret løsning på et teknisk problem. Det gis patent på oppfinnelser. Oppfinnelsen må utgjøre en praktisk løsning av et problem, der løsningen har teknisk karakter, teknisk effekt og er reproduserbar. Man kan ikke få patent på en ide uten å forklare eller vise hvordan den kan gjennomføres i praksis. Man kan heller ikke få patent på et forretningskonsept. Fremgangsmåter, produkter, apparater og anvendelser kan patenteres.

Personvern *Personvern* innebærer den enkeltes rett til respekt for sitt privatliv, sitt familieliv, sitt hjem og sin kommunikasjon, at husransakelse kun kan finne sted i kriminelle tilfeller, og at statens myndigheter skal sikre et vern om den personlige integritet.

Prediksjon En *prediksjon* er en påstand om et fremtidig forhold.

Primærdata *Primærdata* er data som samles inn eller genereres som en del av prosjektet.

Prototyping *Prototyping* innebærer å bygge en modell av et artefakt.

Pålitelig evaluering En *evaluering* er *pålitelig* (også kjent som *reliabel*) hvis den kan gjentas og gir tilnærmet samme resultat hver gang den gjentas.

Repeterbarhet *Repeterbarhet* innebærer at andre forskere skal kunne gjenta våre undersøkelser og eksperimenter.

Resultatmål Et *resultatmål* beskriver hva et prosjekt eller tiltak skal oppnå, og er knyttet til prosjektets resultater og leveranser.

Rådata *Rådata* er opprinnelige, ubehandlede data.

Sekundærdata *Sekundærdata* er data som benyttes av prosjektet, men som har ekstern opprinnelse.

Spørreundersøkelse En *spørreundersøkelse* innebærer innsamling av informasjon fra et bredt og nøye sammensatt utvalg av personer.

Statistisk hypotese En *statistisk hypotese* er en påstand om verdien til en (eller flere) parameter(e) for en populasjon. Den kan påstå noe om parameterens verdi (for eksempel gjennomsnitt, størrelsesforhold eller median) eller om dens sannsynlighetsfordeling (for eksempel normalfordeling, uniform fordeling, logaritmisk fordeling).

Suksesskriterium Et *suksesskriterium* karakteriserer en test eller betingelse for om man har lyktes med et gitt foretagende.

Teknologi *Teknologi* inkluderer alle menneskeskapte objekter samt de ferdighetene med hvilke vi fremstiller og bruker disse.

Teknologivitenskap *Teknologivitenskap* er vitenskap der man fokuserer på å utvikle virkeligheten med nye eller vesentlig bedre artefakter.

Teori *Teori* er et system av (delvis) bekreftede utsagn som bestemmer eller forklarer sammenhengen mellom en rekke fenomener.

Test-retest-pålitelig evaluering En *evaluering* er *test-retest-pålitelig* hvis resultatet blir tilnærmet det samme hver gang den gjentas.

Universell hypotese En *universell hypotese* er en påstand om at ethvert medlem av en populasjon har en bestemt egenskap.

Virkeligheten *Virkeligheten* er den ytre verden. Det vi står overfor i vår naturlige innstilling til omverdenen i alminnelighet, og det vi indirekte kan slutte oss til om den.

Vitenskap *Vitenskap* er et systematisk ordna hele av metodisk tilveiebrakt kunnskap.

Vitenskapelig artikkel En *vitenskapelig artikkel* er en artikkel som presenterer ny, ikke tidligere publisert kunnskap som er dokumentert på en etterprøvbar måte.

Tillegg B

Oversikt over fremgangsmåter

Fremgangsmåte 4.1 s. 43 – Beskrivelse av artefaktbehov

Fremgangsmåte 7.1 s. 86 – Gjenbrukbare skjemaer for formulering av prediksjoner

Fremgangsmåte 8.1 s. 91 – Evaluering av en universell hypotese

Fremgangsmåte 8.2 s. 92 – Gjenbrukbare skjemaer for formulering av universelle, teknologivitenskapelige hypoteser

Fremgangsmåte 9.1 s. 104 – Evaluering av en eksistensiell hypotese

Fremgangsmåte 9.2 s. 105 – Indirekte evaluering av en eksistensiell hypotese

Fremgangsmåte 9.3 s. 106 – Gjenbrukbart skjema for formulering av eksistensielle, teknologivitenskapelige hypoteser

Fremgangsmåte 10.1 s. 113 – Evaluering av en statistisk hypotese

Fremgangsmåte 10.2 s. 114 – Gjenbrukbare skjemaer for formulering av statistiske, teknologivitenskapelige hypoteser

Fremgangsmåte 10.3 s. 120 – Evaluering av en sammensatt hypotese

Tillegg C

Oversikt over eksempler

- Eks. 2.1** s. 12 – Lokalisering av fiendtlige artillerikanoner
- Eks. 2.2** s. 13 – Nivelleringsverktøy for anleggelse av vannveier
- Eks. 2.3** s. 15 – Det motoriserte flyet
- Eks. 2.4** s. 16 – Drømmen om å lage gull
- Eks. 2.5** s. 16 – Den mørke planeten Vulkan
- Eks. 2.6** s. 18 – Thomas Alva Edison og lyspæren
- Eks. 3.1** s. 21 – Teleskopet
- Eks. 3.2** s. 25 – Blodomløpet
- Eks. 3.3** s. 25 – Oppdagelsen av Neptun
- Eks. 3.4** s. 30 – Meskwaki-folket
- Eks. 3.5** s. 31 – Anskaffelsessystem
- Eks. 3.6** s. 33 – Barselbeber
- Eks. 4.1** s. 37 – Effekt- og resultatmål for et romfartsprosjekt
- Eks. 4.2** s. 38 – Interessenter for en tidsmaskin
- Eks. 4.3** s. 39 – Digitalisering innen offshore
- Eks. 4.4** s. 42 – Suksesskriterier for en tidsmaskin
forts. av **Eks. 4.2**
- Eks. 4.5** s. 43 – Fremgangsmåte anvendt på verktøy for beslutningsstøtte
forts. av **Eks. 4.3**
- Eks. 6.1** s. 67 – Innhenting av artefaktbehov
- Eks. 6.2** s. 68 – Bruk av sosiale nettverk

- Eks. 6.3** s. 70 – Eksempler på universelle hypoteser
- Eks. 6.4** s. 71 – Skjematiske versjoner av eksempler på universelle hypoteser
forts. av **Eks. 6.3**
- Eks. 6.5** s. 72 – Eksempler på eksistensielle hypoteser
- Eks. 6.6** s. 73 – Skjematiske versjoner av eksempler på eksistensielle hypoteser
forts. av **Eks. 6.5**
- Eks. 6.7** s. 73 – Negasjoner av eksempler på eksistensielle hypoteser
forts. av **Eks. 6.5** og **6.6**
- Eks. 6.8** s. 74 – Eksempler på statistiske hypoteser
- Eks. 6.9** s. 75 – Skjematiske versjoner av eksempler på statistiske hypoteser
forts. av **Eks. 6.8**
- Eks. 7.1** s. 82 – Darwins prediksjon om langsabledet møll på Madagaskar
- Eks. 7.2** s. 84 – Antagelse om riktigheten av Newtons gravitasjonslære
forts. av **Eks. 2.5** og **3.3**
- Eks. 7.3** s. 84 – Antagelser om data, intervjuobjekter og utstyr
- Eks. 8.1** s. 90 – Anvendelser av implikasjonsbegrepet
- Eks. 8.2** s. 93 – Prototyping av Edisons lyspæredesign
forts. av **Eks. 2.6** og **6.3**
- Eks. 8.3** s. 94 – Eksperimentell simulering for evaluering av røykdykkerrobot
- Eks. 8.4** s. 94 – Felteksperiment for utprøving av skalerbarhet av tjenestearkitektur
- Eks. 8.5** s. 96 – Feltstudie for nettbasert samhandlingskonsept
- Eks. 8.6** s. 97 – Datasimulering av luftmotstand
- Eks. 8.7** s. 98 – Bruk av matematikk for testing av algoritme
- Eks. 8.8** s. 99 – Logisk argumentasjon for å evaluere kravspesifikasjon
- Eks. 8.9** s. 100 – Spørreundersøkelse for evaluering av brukergrensesnitt
- Eks. 8.10** s. 101 – Dybdeintervju om helseeffekt av madrass
- Eks. 8.11** s. 101 – Laboratorieeksperiment for utprøving av peilestav
- Eks. 9.1** s. 104 – Evaluering av Darwins prediksjon
forts. av **Eks. 7.1**
- Eks. 9.2** s. 105 – Indirekte evaluering av Darwins prediksjon
forts. av **Eks. 7.1** og **9.1**
- Eks. 9.3** s. 106 – Evaluering av Cayleys konsept

- Eks. 9.4** s. 107 – Fermats siste teorem
- Eks. 9.5** s. 108 – Immunitet mot prostatakreft
- Eks. 9.6** s. 109 – Detaljering av hypotesen om Higgs' partikkel
- Eks. 9.7** s. 109 – Dataprogram for brettspillet Go
- Eks. 10.1** s. 112 – Alternativ- og nullhypotese for en ny medisin
- Eks. 10.2** s. 115 – Prediksjon for nullhypotese om en ny medisin
forts. av **Eks. 10.1**
- Eks. 10.3** s. 115 – Eksperimentell simulering av alarmhåndtering
- Eks. 10.4** s. 116 – Flere anvendelser av skjemaer ved statistisk hypotesetesting
- Eks. 11.1** s. 122 – Manglende ekstern gyldighet
- Eks. 11.2** s. 124 – Manglende intern gyldighet
forts. av **Eks. 11.1**
- Eks. 11.3** s. 126 – Manglende begrepsgyldighet
forts. av **Eks. 11.1** og **11.2**
- Eks. 11.4** s. 127 – Manglende konklusjonsgyldighet
forts. av **Eks. 11.1, 11.2** og **11.3**
- Eks. 11.5** s. 131 – Manglende inter-observatør-pålitelighet
forts. av **Eks. 11.1, 11.2, 11.3** og **11.4**
- Eks. 11.6** s. 132 – Manglende intern-konsistens-pålitelighet
forts. av **Eks. 11.1, 11.2, 11.3, 11.4** og **11.5**
- Eks. 11.7** s. 132 – Manglende parallelle-metoder-pålitelighet
forts. av **Eks. 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5** og **11.6**
- Eks. 11.8** s. 135 – Manglende test-retest-pålitelighet
forts. av **Eks. 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6** og **11.7**

Tillegg D

Oversikt over figurer

- Figur 1.1** s. 3 – Vitenskap om design – studium av metoder for brobygging
- Figur 1.2** s. 4 – Teknologivitenskap og de to formene for designvitenskap
- Figur 2.1** s. 15 – Teknologivitenskap – oppfinnelse av intergalaktisk fartøy
- Figur 2.2** s. 16 – Forklaringsvitenskap – studium av maur
- Figur 3.1** s. 20 – Fremgangsmåte for forskning innen teknologivitenskap
- Figur 3.2** s. 22 – Lesingens rolle i fasevis fremgangsmåte
- Figur 3.3** s. 23 – Skrivningens rolle i fasevis fremgangsmåte
- Figur 3.4** s. 24 – Fremgangsmåte for forskning innen forklaringsvitenskap
- Figur 3.5** s. 28 – Aksjonsforskningens sykliske prosess
- Figur 3.6** s. 29 – Fremgangsmåte for aksjonsforskning
- Figur 4.1** s. 36 – Problemanalysens bestanddeler
- Figur 4.2** s. 38 – Karakterisering av artefaktbehov
- Figur 4.3** s. 41 – Behovskarakteriseringens bestanddeler innen forklaringsforskning
- Figur 5.1** s. 47 – Ideskaping
- Figur 5.2** s. 53 – Kategorier av evalueringsmetoder
- Figur 5.3** s. 58 – Dokumentasjonsbehov
- Figur 6.1** s. 66 – Sammenheng mellom initiale, implisitte, eksplisitte og løsningsorienterte hypoteser
- Figur 6.2** s. 67 – Arbeidshypotesens rolle
- Figur 6.3** s. 69 – Illustrasjon av universelle, eksistensielle og statistiske hypoteser

- Figur 8.1** s. 92 – Evaluering av en universell hypotese
- Figur 9.1** s. 104 – Evaluering av en eksistensiell hypotese
- Figur 10.1** s. 114 – Evaluering av en statistisk hypotese
- Figur 11.1** s. 129 – Sammenheng mellom gyldighetsbegreper
- Figur 11.2** s. 130 – Inter-observatør-pålitelighet
- Figur 11.3** s. 131 – Intern-konsistens-pålitelighet
- Figur 11.4** s. 133 – Parallele-metoder-pålitelighet
- Figur 11.5** s. 134 – Test-retest-pålitelighet
- Figur 12.1** s. 141 – Publiseringformer og deres relasjoner
- Figur 13.1** s. 146 – Oppdeling og videre nedbrytning av en teknologivitenskapelig artikkel
- Figur 13.2** s. 153 – Struktur for evaluerings- og diskusjonskapitler
- Figur 14.1** s. 165 – Comtes hierarki av vitenskaper
- Figur 14.2** s. 168 – Kuhns syn på vitenskapens utvikling
- Figur 14.3** s. 173 – Teknologivitenskap i Comtes hierarki av vitenskaper

Tillegg E

Oversikt over tabeller

Tabell 3.1 s. 26 – Teknologiforskning versus forklaringsforskning

Tabell 3.2 s. 30 – Teknologiforskning versus aksjonsforskning

Tabell 9.1 s. 108 – Relasjon mellom videreutvikla hypotese og arbeidshypotese

Tabell 9.2 s. 110 – Hva vi kan slutte oss til om arbeidshypotesen fra en evaluering av den videreutvikla hypotesen

Tillegg F

Litteraturliste

- [1] D. Aitkenhead. *Peter Higgs: I wouldn't be productive enough for today's academic system*. The Guardian, 6. desember (2013). Hentet 23. august 2017: (<https://www.theguardian.com/science/2013/dec/06/peter-higgs-boson-academic-system>).
- [2] Anglia Ruskin University. *Harvard system of referencing guide*. Hentet 22. august 2017: (<https://libweb.anglia.ac.uk/referencing/harvard.htm>).
- [3] R. Bain. «Technology and state government». I: *American Sociological Review* 2 (1937), s. 860–874.
- [4] R.L. Baskerville. «Investigating information systems with action research». I: *Communications of the Association for Information Systems* 2 (1999). Article 19.
- [5] G.K. Bhattacharyya og R.A. Johnson. *Statistical concepts and methods*. Wiley, 1977.
- [6] A. Bird. *Thomas Kuhn*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2013 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/thomas-kuhn/>).
- [7] P.A. Bjørkum. *Annerledestenkerne – Kreativitet i vitenskapens historie*. Universitetsforlaget, 2016.
- [8] Bokmålsordboka. *Teknologi*. Hentet 28. april 2012: (<http://www.nob-ordbok.uio.no/perl/ordbok.cgi?OPP=teknologi&bokmaal=+&ordbok=bokmaal>).
- [9] M. Bourdeau. *Auguste Comte*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2011 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/comte/>).
- [10] J.R. Brown og Y. Fehige. *Thought experiments*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2017 Edition): (<https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/thought-experiment/>).
- [11] B.D. Callander. «The critical twist». I: *Air Force Magazine* (sep. 1989), s. 150–156.

- [12] CBSNews/AP. *Quantas crew faced 54 alarms warning of failure*. Hentet 23. mai 2014: (<http://www.cbsnews.com/news/qantas-crew-faced-54-alarms-warning-of-failure/>).
- [13] CERN Press Office. *New results indicate that particle discovered at CERN is a Higgs boson*. Hentet 24. mars 2014: (<http://press.web.cern.ch/press-releases/2013/03/new-results-indicate-particle-discovered-cern-higgs-boson>).
- [14] A.F. Chalmers. *What is this thing called science?* Open University Press, 1999.
- [15] M. Crang og I. Cook. *Doing ethnographies*. SAGE, 2007.
- [16] R. Creath. *Logical empiricism*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2017 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/logical-empiricism/>).
- [17] J.W. Creswell. *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions*. SAGE, 2007.
- [18] N. Cross. «Designerly ways of knowing: Design dicipline versus design science». I: *Design Issues* 17 (2001), s. 49–55.
- [19] C. Darwin. *On the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilised by insects*. John Murray, 1862.
- [20] Det Norske Akademis ordbok. *Kvalifisert*. Hentet 31. juli 2019: (<https://www.naob.no/ordbok/kvalifisert>).
- [21] A. Dresch, D.P. Lacerda og J.A.V. Antunes jr. *Design science research*. Springer, 2015.
- [22] B.C. Edwards. *The space elevator – NIAC phase II final report*. Tekn. rapp. Eureka Scientific, 2003.
- [23] P. Edwards, red. *Encyclopedia of philosophy*. Bd. 2. Macmillan, 1969.
- [24] R. Engelhardt og H.S. Jensen. *Ergo – Naturvitenskapens filosofiske historie*. Lindhardt og Ringhof, 2007.
- [25] J. Fagerberg. «A guide to Schumpeter». I: *Confluence: Interdisciplinary Communications*. Red. av C. Mitcham og R. Mackey. Centre for Advanced Study, Oslo, 2009, s. 20–22.
- [26] FAI portal. *11 October 2005: Russian cosmonaut Krikalev becomes the absolute record holder in accumulated space flight time*. Hentet 22. februar 2017: (<http://www.fai.org/icare-news/40274-11-october-2005-russian-cosmonaut-krikalev-becomes-the-absolute-record-holder-in-accumulated-space-flight-time>).
- [27] R.D. Friedel, P. Israel og B.S. Finn. *Edison's electric light: Biography of an invention*. Rutgers University Press, 1986.
- [28] D. Føllesdal og L. Walløe. *Argumentasjonsteori og vitenskapsfilosofi*. Universitetsforlaget, 1977.
- [29] K.Å. Gotvassli. *Kunnskap, kunnskapsutvikling og kunnskapsledelse i organisasjoner*. Fagbokforlaget, 2015.

- [30] M.J. Grant og A. Booth. «A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies». I: *Health Information and Libraries Journal* 26 (2009), s. 91–108.
- [31] J. Gribbin. *Science: A history*. Allen Lane, 2002.
- [32] S. Grønmo. *Samfunnsvitenskapelige metoder*. Fagbokforlaget, 2004.
- [33] I. Hacking. «Experimentation and scientific realism». I: *Philosophical Topics* 13 (1982), s. 71–87.
- [34] B. Hanneborg og K. Hanneborg. *Filosofisk ordbok*. Tanum, 1975.
- [35] S. Hawking. *How to build a time machine*. Hentet 21. februar 2017: (<http://www.dailymail.co.uk/home/moslive/article-1269288/STEPHEN-HAWKING-How-build-time-machine.html>). 2010.
- [36] L. Henderson. *The problem of induction*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2019 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/induction-problem/>).
- [37] R.M. Henderson og K.B. Clark. «The reconfiguration of existing product technologies and the failure of existing firms». I: *Administrative Science Quarterly* 35 (1990), s. 9–30.
- [38] A. Hevner og S. Chatterjee. *Design research in information systems*. Springer, 2010.
- [39] A.R. Hevner, S.T. March, J. Park og S. Ram. «Design science in information systems research». I: *MIS Quarterly* 28 (2004), s. 75–105.
- [40] *Human Factors i kontrollrom – en revisjonsmetode*. Oljedirektoratet, 2003.
- [41] H.R. Jervell og K.A. Olsen. *Hva datamaskiner ikke kan*. Universitetsforlaget, 1982.
- [42] G. Johnson. *The ten most beautiful experiments*. Vintage Books, 2008.
- [43] P. Kaye, R. Laflamme og M. Mosca. *An introduction to quantum computing*. Oxford University Press, 2007.
- [44] D. Kennefick. «Testing relativity from the 1919 eclipse – A question of bias». I: *Physics Today* (mar. 2009), s. 37–42.
- [45] B. Kitchenham og S. Carters. *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering – version 2.3*. Tekn. rapp. EBSE-2007-01. Keele University, 2007.
- [46] J. Klein. *Francis Bacon*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2012 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/francis-bacon/>).
- [47] W. van der Kloot. «Lawrence Bragg's role in the development of sound-ranging in World War I». I: *Notes and Records of the Royal Society* 59 (2005), s. 273–284.
- [48] G. Kritsky. «Darwin's Madagascan hawk moth prediction». I: *American Entomologist* 37 (2001), s. 206–210.
- [49] J. Lazar, J.H. Feng og H. Hochheiser. *Research methods in human-computer interaction*. Wiley, 2010.
- [50] T. Levenson. *The hunt for Vulcan – How Albert Einstein destroyed a planet and deciphered the Universe*. Head of Zeus, 2015.

- [51] Y. Levy og T.J. Ellis. «A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research». I: *Informing Science Journal* 9 (2006), s. 181–212.
- [52] K. Lewin. «Frontiers in group dynamics». I: *Human Relations* 1 (1947), s. 5–41.
- [53] H. Lindquist. *Historien om Sverige – Storhet og fall*. Norstedts, 1995.
- [54] Lokalthistoriewiki. *Lomsk såmaskin*. Hentet 16. februar 2018: (https://lokalhistoriewiki.no/index.php/?title=Lomsk_såmaskin&oldid=760389).
- [55] Lokalthistoriewiki. *Peder Pedersen Dagsgardsødegård*. Hentet 10. november 2013: (<https://lokalhistoriewiki.no/index.php/Vass-Per>).
- [56] M.B. Madsen. *Reising og mobil teknologi gjensidig forsterkende*. Hentet 17. februar 2016: (<https://forskning.no/mobiltelefon/2011/03/reising-og-mobilteknologi-gjensidig-forsterkende>). 2011.
- [57] A.A. Martinez. *Science secrets – The truth about Darwin’s finches, Einstein’s wife, and other myths*. Pittsburgh University Press, 2012.
- [58] D.G. Mayo. «The new experimentalism, topical hypotheses, and learning from error». I: *Proceedings of the biennial meeting of the Philosophy of Science Association*. University of Chicago Press, 1994, s. 270–279.
- [59] J.E. McGrath. *Groups: Interaction and performance*. Prentice-Hall, 1984.
- [60] Merriam-Webster. *Research*. Hentet 28. april 2012: (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/research>).
- [61] Merriam-Webster. *Technology*. Hentet 28. april 2012: (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/technology>).
- [62] C. Mitcham og R. Mackey, red. *Philosophy and technology: Readings in the philosophical problems of technology*. Collier Macmillan, 1983.
- [63] R.C. Mitchell. «Action anthropology». I: *Lambda Alpha Journal of Man* 2.2 (1970), s. 40–46.
- [64] A. Musgrave og C. Pigden. *Imre Lakatos*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2016 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/lakatos/>).
- [65] O. Nordhaug. *Kunnskapsledelse: Trender og utfordringer*. Universitetsforlaget, 2002.
- [66] M. Nylenna. *Medforfatterskap i medisin og helsefag*. Hentet 2. august 2017: (<https://www.etikkom.no/FBIB/Temaer/Medforfatterskap/Medforfatterskap-i-medisin-og-helsefag/>).
- [67] A.F. Osborn. *Applied imagination*. Scribner’s, 1953.
- [68] K. Popper, red. *Unended quest – An intellectual autobiography*. Routledge, 1992.
- [69] N.A. Porter, red. *Physicists in conflict*. Institute of Physics Pub., 1998.
- [70] J. Preston. *Paul Feyerabend*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2012 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries-feyerabend/>).
- [71] G.M. Radick. «Beyond the ‘Mendel-Fisher controversy’». I: *Science* 350 (2015), s. 159–160.

- [72] L. Randall. *Higgs discovery – The power of the empty space*. The Bodley Head, 2012.
- [73] L. Randall. *Knocking on Heaven's door*. Vintage, 2012.
- [74] *Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals*. International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE). 2016.
- [75] N. Roll-Hansen. *Ideological obstacles to scientific advice in politics?* Tekn. rapp. Makt- og demokratiutredningens rapportserie: 48. Samfunnsvitenskapelig fakultet, Universitetet i Oslo, 2002.
- [76] W. Rothschild og K. Jordan. *A revision of the lepidopterous family Sphingidae*. *Novitates Zoology* 9, suppl, 1903.
- [77] R.C. Scharff og V. Dusek, red. *Philosophy of technology: The technological condition*. Blackwell, 2003.
- [78] W.R. Shadish, T.D. Cook og D.T. Campbell. *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin, 2002.
- [79] N. Silver. *The signal and the noise: The art and science of prediction*. Penguin, 2013.
- [80] H.A. Simon. *The sciences of the artificial*. 3. utg. MIT Press, 1996.
- [81] S. Singh. *Fermat's last theorem*. Fourth Estate, 1997.
- [82] I. Solheim og K. Stølen. *Technology research explained*. Tekn. rapp. SINTEF A313. SINTEF IKT, 2007.
- [83] I. Solheim og K. Stølen. *Teknologiforskning: Hva er det?* Tekn. rapp. STF90 A06035. SINTEF IKT, 2007.
- [84] A.J. Steffl, N.J. Cunningham, A.B. Shinn, D.D. Durda og S.A. Stern. *A search for Vulcanoids with the STEREO heliospheric imager*. arXiv:1301.3804-v1[astro-ph.SR]. 2013.
- [85] Store norske leksikon. *Den avskyelige snømann*. Hentet 9. februar 2014: http://snl.no/Den_avskyelige_snømann.
- [86] Store norske leksikon. *Interessent*. Hentet 23. desember 2012: <http://snl.no/interessent>.
- [87] Store norske leksikon. *Prediksjon*. Hentet 8. desember 2013: <http://snl.no/prediksjon>.
- [88] *Stortingsmelding nr. 7: Et nyskapende og bærekraftig Norge*. Nærings- og handelsdepartementet. 2008–2009.
- [89] G.L. Susman og R.D. Evered. «An assessment of the scientific merits of action research». I: *Administrative Sciences Quarterly* 23 (1978), s. 582–603.
- [90] L. Susskind. *The cosmic landscape*. Hachette Book Group, 2006.
- [91] W. Talbott. *Bayesian epistemology*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2016 Edition): <http://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/epistemology-bayesian/>.
- [92] N.T. Taleb. *The black swan: The impact of the highly improbable*. Brockman, 2007.

- [93] E.L. Trist og K.W. Bamforth. «Some social and psychological consequences of the Longwall Method of coal-getting». I: *Human Relations* 4 (1951), s. 3–38.
- [94] E. Tunstad. *Juks: Hvordan forskere svindler – og hvorfor det ikke er så farlig ...*. Humanist forlag, 2011.
- [95] W. Uzgalis. *John Locke*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2012 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/locke/>).
- [96] A.H. van den Ven, D.E. Polley, R. Garud og S. Venkataraman. *The innovation journey*. Oxford University Press, 2008.
- [97] L.T. Wasserthal. «The pollinators of the Malagasy star orchids *Angruecum sesgipedule*, *A. sororium* and *A. compuctum* and the evolution of extremely long spurs by pollinator shift». I: *Botanica Acta* 110 (1997), s. 343–359.
- [98] F. Wenstøp. *Statistikk og dataanalyse*. Universitetsforlaget, 2006.
- [99] R.J. Wieringa. *Design science methodology for information systems and software engineering*. Springer, 2014.
- [100] Wikipedia. *History of aviation*. Hentet 8. mars 2019: (https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_aviation).
- [101] Wikipedia. *Innovasjon*. Hentet 12. november 2013: (<http://no.wikipedia.org/wiki/Innovasjon>).
- [102] Wikipedia. *Mål (Målsetting)*. Hentet 26. april 2012: ([http://no.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A5l_\(m%C3%A5lsetting\)&oldid=10299772](http://no.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A5l_(m%C3%A5lsetting)&oldid=10299772)).
- [103] Wikipedia. *Resultat- og effektmål*. Hentet 25. desember 2012: (http://no.wikipedia.org/wiki/Resultat-_og_effektmål).
- [104] Wikipedia. *Synthesis of precious metals*. Hentet 30. juli 2013: (http://no.wikipedia.org/wiki/Synthesis_of_precious_metals).
- [105] Wikipedia. *Willem de Vlamingh*. Hentet 7. februar 2014: (http://en.wikipedia.org/wiki/Willem_de_Vlamingh).
- [106] Wiktionary. *Artifact*. Hentet 31. juli 2012: (<http://en.wiktionary.org/w/index.php?title=artifact&oldid=17093965>).
- [107] F. Wilson. *John Stuart Mill*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2012 Edition): (<http://plato.stanford.edu/archives/spr2012/entries/mill/>).
- [108] R. Wittemore og K. Knafl. «The integrative review: Updated methodology». I: *Journal of Advanced Nursing* 52 (2005), s. 546–553.
- [109] R.E. Wyllys. *Mathematical notes for LIS 397.1: Introduction to research in library and information science*. Tekn. rapp. The University of Texas at Austin School of Information, 2007.
- [110] R.K. Yin. *Case study research: Design and methods*. 3. utg. SAGE, 2003.

Register

- A**
abstrakt, 138, 145
vitenskapelig, 138
aksjonsforskning, 27, 55, 122, 151, 173
alternativ hypotese, 14, **112**, 177
analyse
 problem, 22, 35, 45, 64, 157
 statistisk, 2, 55, 127, 151
anonymiserte data, **60**, 177
antagelse, 3, 25, 49, 61, 63, 78, 83, 90, 103, 113, 126, 167
anvendt forskning, **12**, 138, 177
aposteriorisk kunnskap, **164**, 171, 177
apriorisk kunnskap, **164**, 177
arbeidshypotese, **66**, 103, 108, 149, 161, 177
arbeidsprosess, 58, 151
arkitektur
 virksomhets, 74
artefakt, 1, **10**, 19, 35, 45, 64, 87, 89, 103, 114, 122, 137, 145, 173, 177
artefaktbehov, 19, 37, 45, 64, 86, 89, 106, 114, 145, 174
artikkel
 vitenskapelig, 22, 44, 50, **139**, 145, 181
artikkelskriving, 44
aidentifiserte data, **60**, 177
- B**
Bacon, Francis (1561–1626), 164
Bain, Read (1892–1980), 11
begrepsgyldig evaluering, 57, **126**, 128, 177
behandlede data, **60**, 177
behov
 artefakt, 19, 37, 45, 64, 86, 89, 106, 114, 145, 174
behovskarakterisering, 20, 38, 48, 145
beslutningsprosess, 43
Bessel, Friedrich Wilhelm (1784–1846), 25
Bjørkum, Per Arne (1952), 51
Blondlot, Prosper-René (1849–1930), 125
bok
 vitenskapelig, 50, 142
Bragg, William Lawrence (1890–1971), 12
- C**
Cayley, George (1773–1857), 15, 72, 73, 106
Chalmers, Alan (1939), 163
Comte, Auguste (1798–1857), 164, 173
- D**
Dagsgårdødegård, Peder Pedersen (1782–1846), 13
Darwin, Charles (1809–1882), 82, 104
data
 anonymiserte, **60**, 177
 aidentifiserte, **60**, 177
 behandlede, **60**, 177
 direkte identifiserbare, **60**, 177
 primær, **59**, 180
 rå, **60**, 181
 sekundær, **59**, 181
datasimulering, **54**, 86, 96, 118, 177
de Fermat, Pierre (1601–1665), 107
de Vlamingh, Willem (1640–1698), 70, 91
designprosess, 3
designvitenskap, 3
Digges, Leonard (ca. 1515–ca. 1559), 21
digitaliseringsprosjekt, 39
Diofantos (ca. 210–ca. 295), 107
direkte evaluering, 105
direkte identifiserbare data, **60**, 177
dobbeltpublisering, **143**, 178

doktoravhandling, 142
 dokumentasjon, 3, 23, 38, 57, 64, 85, 89, 140, 149, 174
 dybdeintervju, **54**, 67, 85, 100, 114, 173, 178

E

Edison, Thomas Alva (1847–1931), 18, 70, 93, 117
 effektmål, **37**, 178
 Einstein, Albert (1879–1955), 17, 77, 168, 172
 eksistensiell hypotese, 21, 63, **72**, 78, 82, 89, 103, 111, 118, 178
 implikasjonskrav for, **103**, 118, 179
 eksperiment, 20, 51, 81, 90, 104, 115, 122, 131, 145, 166, 170
 felt, **54**, 86, 94, 115, 178
 laboratorie, **54**, 86, 101, 118, 180
 eksperimentalisme, 170, 176
 eksperimentell simulering, **54**, 86, 93, 106, 115, 119, 123, 178
 eksperimentoppsett, 2, 106
 eksternt gyldig evaluering, 57, **122**, 128, 178
 empirisk hypotese, **14**, 178
 empirisme, 164, 171
 logisk, 165, 174
 enmannsprosjekt, 41
 epistemologisk anarkisme, 169, 175
 erkjennelse, **10**, 178
 etterprøvnbarhet, 23, 28, 32, 35, 45, **57**, 139, 145, 166, 174, 178
 evaluering, 14, 20, 35, 52, 63, 84, 89, 103, 111, 121, 143, 145, 167
 begrepsgyldig, 57, **126**, 128, 177
 direkte, 105
 eksternt gyldig, 57, **122**, 128, 178
 gyldig, **121**, 146, 158, 178
 indirekte, 105
 intern-konsistens-pålitelig, **132**, 179
 internt gyldig, 57, **124**, 128, 179
 inter-observatør-pålitelig, **131**, 179
 konklusjonsgyldig, 57, **127**, 128, 179
 parallell-metoder-pålitelig, **132**, 180
 pålitelig, **121**, 146, 158, 181
 test-retest-pålitelig, **134**, 181
 evalueringsfase, 35, 52, 151
 evalueringskriterium, 50
 evalueringsprosess, 50, 118, 155

F

faktum, **13**, 83, 91, 104, 113, 170, 178
 falsifikasjonisme, 63, 166, 174
 fase, 20, 35
 evaluering, 35, 52, 151

nyskapnings, 38, 45, 63, 151
 felteksperiment, **54**, 86, 94, 115, 178
 feltstudie, **54**, 86, 95, 114, 178
 Feyerabend, Paul (1924–1994), 169, 175
 filosofi, 11, 77, 163
 vitenskaps, 163
 forklaringsforskning, 24, 40
 forklaringsvitenskap, 1, **16**, 19, 45, 63, 70, 77, 90, 173, 178
 formidlingsprosess, 32
 forretningsprosess, 10
 forskning, 2, **12**, 19, 35, 45, 63, 81, 123, 128, 137, 145, 168, 178
 aksjons, 27, 55, 122, 151, 173
 anvendt, **12**, 138, 177
 forklarings, 24, 40
 grunn, **12**, 30, 145, 178
 teknologi, 1, 15, 19, 35, 45, 65, 87, 100, 150, 163
 forskningsmetode, 1, **12**, 32, 52, 63, 85, 119, 125, 144, 145, 178
 forskningsprosess, 23, 63, 89, 103, 137
 forskningsprosjekt, 1, 31, 35, 46, 63, 89, 108, 143
 grunn, 30
 forskningsvirksomhet, 52
 Frege, Gottlob (1848–1925), 165
 fremgangsmåte, 1, 12, 19, 42, 46, 59, 67, 89, 103, 111, 137, 150, 172
 fysikk, 2, 12, 14, 16, 144, 165, 173

G

Galilei, Galileo (1564–1642), 21, 166, 169
 Galle, Johann Gottfried (1812–1910), 26
 gjenbrukbart skjema, 71, 86, 92, 105, 114
 grunnforskning, **12**, 30, 145, 178
 grunnforskningsprosjekt, 30
 gyldig
 begreps, 57, **126**, 128, 177
 eksternt, 57, **122**, 128, 178
 internt, 57, **124**, 128, 179
 konklusjons, 57, **127**, 128, 179
 gyldig evaluering, **121**, 146, 158, 178

H

Hacking, Ian (1936), 170
 Harvey, William (1578–1657), 25
 Herschel, William (1738–1822), 25
 Higgs, Peter (1929), 109, 143
 Hume, David (1711–1776), 172
 hypotese, **14**, 178
 alternativ, 14, **112**, 177
 arbeids, **66**, 103, 108, 149, 161, 177

eksistensiell, 21, 63, **72**, 78, 82, 89, 103, 111, 118, *178*
 empirisk, **14**, *178*
 implisitt, **64**, 89, *179*
 initiell, **64**, *179*
 løsningsorientert, **65**, *180*
 metodeorientert, **67**, *180*
 null, **111**, 117, *180*
 sammensatt, 75, 118
 statistisk, **74**, 111, *181*
 universell, **70**, 77, 90, 92, 166, *181*
 hypotesetesting, 2, 61, 111

I

implikasjon, **90**, 103, *179*
 implikasjonskrav for eksistensiell hypotese, **103**, 118, *179*
 implikasjonskrav for statistisk hypotese, **113**, 119, *179*
 implikasjonskrav for universell hypotese, **91**, 103, 112, 119, *179*
 implisitt hypotese, **64**, 89, *179*
 indirekte evaluering, 105
 induksjonisme, 164, 172
 industriprosjekt, 31
 initiell hypotese, **64**, *179*
 innovasjon, **17**, 46, *179*
 interessant, 19, 27, 32, **36**, 52, 143, *179*
 intern-konsistens-pålitelig evaluering, **132**, *179*
 internt gyldig evaluering, 57, **124**, 128, *179*
 inter-observatør-pålitelig evaluering, **131**, *179*
 intervju, 39, 143
 dybde, **54**, 67, 85, 100, 114, 173, *178*

J

Jordan, Karl (1861–1959), 82

K

karakterisering
 behovs, 20, 38, 48, 145
 Karl XII (1682–1718), 13, 81
 kausal relasjon, 56, **124**, *179*
 kjemi, 2, 14, 16, 165, 173
 konklusjonsgyldig evaluering, 57, **127**, 128, *179*
 konstruksjonsprosess, 3
 kreativitet, 2, 45
 Krikalev, Sergej K. (1958), 38
 kriterium, 32, 168
 evaluering, 50
 suksess, 21, **41**, 150, *181*
 utvelgelses, 56
 Kuhn, Thomas (1922–1996), 167, 175

kunnskap, 1, **9**, 21, 35, 45, 83, 100, 139, 163, *179*
 aposteriorisk, **164**, 171, *177*
 apriorisk, **164**, 171, *177*
 kvalifisert, 14, 81, 161
 kvalitativ, 2, 56, 114, 173
 kvalitetssikring, 57, 121

L

laboratorieeksperiment, **54**, 86, 101, 118, *180*
 Lakatos, Imre (1922–1974), 169, 175
 Le Verrier, Urbain (1811–1877), 16, 26, 84
 lesing, 22, 44, 50, 159
 Lipperhey, Hans (1570–1619), 21
 Locke, John (1632–1704), 164
 logikk, 14, **54**, 99, 164, *180*
 logisk empirisme, 165, 174
 logisk positivisme, 165, 174
 Lukrets (99 fvt.–55 fvt.), 51
 løsningsorientert hypotese, **65**, *180*

M

masteroppgave, 141
 matematikk, 14, **54**, 73, 87, 97, 107, 144, 164, *180*
 Mayo, Deborah (1951), 170
 McGrath, Joseph (1927–2007), 53
 medisin, 2, 27, 148
 Mendel, Gregor Johann (1822–1884), 125
 metode
 forsknings, 1, **12**, 32, 52, 63, 85, 119, 125, 144, 145, *178*
 metodeorientert hypotese, **67**, *180*
 metodetriangulering, **55**, *180*
 Mill, John Stuart (1806–1873), 164
 mål
 effekt, **37**, *178*
 resultat, **37**, *181*

N

naturvitenskap, 1, 11, 56, 165, 171
 negasjon, **73**, 105, 111, 117, *180*
 Newton, Isaac (1643–1727), 17, 70, 84, 167
 nullhypotese, **111**, 117, *180*
 nyskapning, 3, 18, 20, 36, 45, 64, 85, 89, 137, 145, 174
 nyskapningsfase, 38, 45, 63, 151
 nyskapningsprosess, 101, 108, 145

O

oppsett
 eksperiment, 2, 106

P

paradigmetenkning, 168, 175
 parallelle-metoder-pålitelig evaluering, **132**, 180
 patent, 70, 93, 117, **142**, 180
 personvern, 42, **60**, 130, 180
 planlegging, 29, 35, 45, 89, 148
 Popper, Karl (1902–1994), 63, 77, 166
 populærvitenskapelig publisering, 139
 positivisme, 164, 173
 logisk, 165, 174
 poster
 vitenskapelig, 138
 prediksjon, 24, 33, **81**, 90, 103, 111, 128, 161, 180
 primærdata, **59**, 180
 probabilisme, 170, 175
 problemanalyse, 22, 35, 45, 64, 157
 problemstilling, 2, 52, 66, 138, 171
 produksjonsprosess, 17
 prosess, 4, 10, 18, 19, 39, 48, 106, 115, 123, 151, 164
 arbeids, 58, 151
 beslutnings, 43
 design, 3
 evaluerings, 50, 118, 155
 formidlings, 32
 forretnings, 10
 forsknings, 23, 63, 89, 103, 137
 konstruksjons, 3
 nyskapnings, 101, 108, 145
 produksjons, 17
 skrive, 142, 158
 vedlikeholds, 39
 prosjekt
 digitaliserings, 39
 enmanns, 41
 forsknings, 1, 31, 35, 46, 63, 89, 108, 143
 grunnforsknings, 30
 industri, 31
 romfarts, 37
 under, 32, 40, 45, 63, 103
 utviklings, 31
 vedlikeholds, 39
 prosjektsøknad, 157
 prototyping, 15, 19, **54**, 72, 81, 92, 106, 118, 151, 180
 publisering, 23, 46, 66, 137, 148, 174
 pålitelig
 intern-konsistens, **132**, 179

inter-observatør, **131**, 179
 parallelle-metoder, **132**, 180
 test-retest, **134**, 181
 pålitelig evaluering, **121**, 146, 158, 181

R

rapport
 vitenskapelig, 2, 22, 40, 50, 140, 146
 rapportskrivning, 147
 relasjon
 kausalt, 56, **124**, 179
 reliabel, 121
 repeterbarhet, 45, **57**, 121, 133, 171, 181
 resultatmål, **37**, 181
 romfartsprosjekt, 37
 Rothschild, Walter (1868–1937), 82
 rådata, **60**, 181

S

samfunnsvitenskap, 1, 16, 24, 122, 151
 sammensatt hypotese, 75, 118
 Schumpeter, Joseph (1883–1950), 17
 Sedoul, Lee (1983), 109
 sekundærdata, **59**, 181
 selvplagiat, 137, 143
 Semmelweis, Ignaz (1818–1865), 33
 Simon, Herbert (1916–2001), 3
 simulering
 data, **54**, 86, 96, 118, 177
 eksperimentell, **54**, 86, 93, 106, 115, 119, 123, 178
 skjema
 gjenbrukbart, 71, 86, 92, 105, 114
 skriveprosess, 142, 158
 skriving, 23, 137, 148
 artikkel, 44
 rapport, 147
 sosial struktur, 11, 27, 128
 sosiologi, 2, 14, 165, 173
 spørreundersøkelse, **54**, 68, 86, 100, 118, 123, 129, 181
 statistisk analyse, 2, 55, 127, 151
 statistisk hypotese, **74**, 111, 181
 implikasjonskrav for, **113**, 119, 179
 struktur
 sosial, 11, 27, 128
 studie
 felt, **54**, 86, 95, 114, 178
 suksesskriterium, 21, **41**, 150, 181
 søknad
 prosjekt, 157

T

Taleb, Nassim Nicholas (1960), 70
Tax, Sol (1907–1995), 30
teknologi, **11**, 22, 35, 45, 63, 77, 83, 94, 130,
139, 145, 171, *181*
teknologiforskning, 1, 15, 19, 35, 45, 65, 87,
100, 150, 163
teknologiutvikling, 31, 175
teknologivitenskap, 1, **15**, 19, 45, 63, 86, 89,
108, 138, 145, 163, *181*
teori, **13**, 24, 63, 70, 84, 90, 97, 108, 112, 126,
143, 166, *181*
testing
 hypotese, 2, 61, 111
test-retest-pålitelig evaluering, **134**, *181*
Tucker, William Sansome (1877–1955), 13

U

underprosjekt, 32, 40, 45, 63, 103
undersøkelse
 spørre, **54**, 68, 86, 100, 118, 123, 129, *181*
universell hypotese, **70**, 77, 90, 92, 166, *181*
 implikasjonskrav for, **91**, 103, 112, 119, *179*
utvelgelseskriterium, 56
utvikling, 18, 31
 teknologi, 31, 175
utviklingsprosjekt, 31

V

valid, 121

vedlikeholdsprosess, 39
vedlikeholdsprosjekt, 39
virkeligheten, **9**, 24, 38, 54, 97, *181*
virksomhet, 18, 27, 37, 52, 96
 forskning, 52
virksomhetsarkitektur, 74
vitenskap, **11**, *181*
 design, 3
 forklarings, 1, **16**, 19, 45, 63, 70, 77, 90,
 173, *178*
 natur, 1, 11, 56, 165, 171
 samfunns, 1, 16, 24, 122, 151
 teknologi, 1, **15**, 19, 45, 63, 86, 89, 108,
 138, 145, 163, *181*
vitenskapelig abstrakt, 138
vitenskapelig artikkel, 22, 44, 50, **139**, 145,
 181
vitenskapelig bok, 50, 142
vitenskapelig poster, 138
vitenskapelig rapport, 2, 22, 40, 50, 140, 146
vitenskapsfilosofi, 163

W

Wiles, Andrew (1953), 107
Wittgenstein, Ludwig (1889–1951), 166
Wright, Orville (1871–1948), 15, 72, 106
Wright, Wilbur (1867–1912), 15, 46, 72, 106

Ø

økonomi, 2, 31