Dansk Titel: Handlingsorienterede digitale teknologier som vej til robust riskikohåndtering i forsyningskæder

Engelsk Title: Action-oriented digital technologies as a pathway to resilient risk management in supply chains

Specialeprojekt, - 10. Semester

Uddannelse: Cand. Merc. Økonomistyring

Uddannelsessted: Aalborg Universitet

Semestertema: Specialeprojekt

Afleveringsdato: 02/06-2025

Projektgruppe: CMØS-18

Antal anslag: 187.732/2.400=78,2 sider

Vejleder: Daniel Harritz

Gruppemedlemmer:

Malte Kirch Andersen
Studienummer: 20147012

Vladyslav Mshanetskyi
Studienummer: 20220257

Abstract

Global shocks such as COVID-19, the Suez blockage and geopolitical tensions have revealed how vulnerable modern supply chains are to the bullwhip effect and related risks. This thesis investigates how action-oriented digital technologies—artificial intelligence (AI), blockchain and cloud computing—can help identify, assess and address supply-chain risks and thereby strengthen supply-chain resilience (SCRES). The theoretical framework integrates Mentzer's seven SCM activities with Ponomarov and Holcomb's seven SCRES capabilities and treats the three technologies as activation mechanisms that link activities to capabilities while attenuating bullwhip drivers such as forecast inaccuracy, order batching, price fluctuations and rationing. Methodologically, the study relies on a systematic literature review (SLR) conducted in accordance with PRISMA guidelines; journal articles with a CABS rating of 2 or higher were evaluated using CASP-inspired criteria, and 13 technology functions across the three technologies form the basis of the final synthesis.

The findings show that AI-driven demand sensing reduces forecast error and safety stock, blockchain-based smart contracts automate delivery and payment flows and thus curb shortage gaming, and cloud-based control towers provide real-time visibility and shorten recovery lead times. Collectively, these technologies enhance visibility, agility and collaboration while mitigating all four bullwhip drivers; the literature also points to lower capital commitment and a shift in the controller role toward proactive decision support. The results indicate that firms should adopt common data standards, incentive schemes for information sharing and digital governance structures to fully realise these benefits. The thesis offers a hands-on framework, yet the conclusions rest on secondary data; future quantitative longitudinal case studies are recommended to validate the effects in practice.

1.0 Indledning

En enkelt hændelse viste verden, hvor sårbare globale forsyningskæder reelt er blevet, da containerskibet Ever Given i 2021 satte sig fast i Suez-kanalen, blev omkring 12 % af verdenshandlen lammet i dagevis med følgende enorme økonomiske tab. Ifølge estimater blev der forsinket varer til en værdi af op til 9,6 milliarder dollars om dagen, svarende til cirka 400 millioner dollars i timen (Anon., 2021). Denne blokering synliggjorde, hvor hurtigt en enkelt flaskehals kan resultere i betydelige økonomiske tab i globale forsyningskæder. Sådan en hændelse stod dog ikke alene, COVID-19-pandemien skabte globale chokbølger, hvor fabrikslukninger i Kina medførte omfattende mangel på kritiske komponenter som halvledere og sendte europæiske bilproducenter i knæ (Li, et al., 2021). Onlinehandlen indenfor dagligvarer steg med hele 21.5% i Danmark, og elektronik med hele 60%, der blev revet væk fra hylderne i en panikagtig efterspørgsel. Også gør-det-selv-handlen i byggemarkeder steg med hele 26% som følge af øget fritid da mange købte sommerhuse (Anon., 2021). Efterfølgende har andre kriser forværret usikkerheden yderligere. Ukraine-krigen har påvirket globale forsyninger af korn og energi dramatisk (Viner, 2022), og USA's og EU's handelsrestriktioner og pålæg af told mod Kina har gjort verdenshandlen endnu mere kompleks og usikker (Smith, 2025). Klimarelaterede hændelser, som storme, oversvømmelser og fabriksbrande, forstærker denne usikkerhed og skaber en stigende grad af kompleksitet for virksomheder (Morris, 2024).

Disse udfordringer gør det klart, at risikostyring ikke længere kan håndteres isoleret af enkelte virksomheder. Der skal i stedet etableres robuste værdikæder, hvor alle led spiller tæt sammen. Her bliver begreber som Supply Chain 4.0 (SC4.0) og Industry 4.0 (I4.0) helt centrale, da disse teknologiske revolutioner gør det muligt for virksomhederne at reagere hurtigere og mere effektivt gennem digitale løsninger (McKinsey, 2016).

Disse teknologier, især kunstig intelligens (AI), blockchain og cloud computing, lover virksomheder helt nye muligheder for at håndtere risici gennem øget transparens og bedre informationsdeling.

Økonomistyringens rolle gennemgår i disse år en væsentlig ændring, idet økonomistyringen bevæger sig fra primært at være bagudskuende og reaktiv mod at være mere proaktiv og fremadrettet. Denne ændring indebærer blandt andet, at realtidsdata og avancerede analyseværktøjer i højere grad anvendes med henblik på risikohåndtering og beslutningstagning i hele værdikæden (Thomson Reuters, 2024).

På samfundsniveau handler denne udvikling ikke alene om virksomheders økonomiske resultater, men ligeledes om at etablere mere robuste forsyningskæder, der kan sikre stabil forsyning og understøtte den grønne omstilling. Projektet undersøger derfor, hvordan action-orienterede digitale teknologier (AODT) potentielt kan bidrage til øget agilitet og modstandsdygtighed i virksomheders værdikæder.

1.1 Problemfelt

I dag står virksomheder over for en stadig mere usikker og kompleks situation i deres forsyningskæder. Hyppige hændelser som Covid-19-pandemien, Ukraine-krigen, klimaforandringer og store ulykker som "Ever Given"-skibets blokering af Suez-kanalen har tydeligt vist behovet for stærkere og mere robuste forsyningskæder (Ivanov, et al., 2019; Raetze, et al., 2021). Resiliens defineres i denne sammenhæng som virksomheders evne til hurtigt at identificere, respondere og genoprette normal drift efter disruptioner (Ponomorov & Holcomb, 2009). Resiliens er dermed ikke længere blot en operationel nødvendighed, men en strategisk prioritet med væsentlig betydning for virksomheders langsigtede konkurrenceevne (Wu, et al., 2025).
For at håndtere disse udfordringer er mange virksomheder begyndt at interessere sig for digitale teknologier som mulige løsninger. Især kunstig intelligens (AI), blockchain og cloud computing bliver fremhævet i nyere forskning som teknologier, der aktivt kan hjælpe virksomheder med at håndtere forsyningskæderisici mere effektivt (Wu, et al., 2025). Selvom litteraturen allerede har identificeret en række generelle fordele ved disse teknologier, såsom øget transparens, forbedret koordination og hurtigere beslutningsstøtte (Dey, et al., 2024; Ivanov, et al., 2019). Alligevel fremhæver flere forskere, at der stadig mangler konkret viden om, hvordan disse teknologier præcist understøtter centrale SCM-aktiviteter og styrker forsyningskæderesiliensen i praksis. Tidligere forskning har ofte enten undersøgt en teknologi ad gangen eller beskrevet teknologierne på et meget overordnet niveau uden klart at vise, hvordan de fungerer i praksis (Wu, et al., 2025).

Dette projekt tager udgangspunkt i to anerkendte teoretiske modeller: Mentzers SCM-aktiviteter (Mentzer, et al., 2001). Projektet kobler disse aktiviteter direkte til SCRES-kapabiliteterne beskrevet af Ponomarov & Holcomb (2009), Mentzers model beskriver de vigtigste aktiviteter i forsyningskæder, herunder informationsdeling, integration af processer, samarbejde samt deling af risiko og gevinster. Disse aktiviteter kobles direkte til kapabiliteter som agilitet, synlighed, fleksibilitet, integration, samarbejde og adaptiv læring, fra Ponomarov & Holcombs model. En central udfordring er dog, at disse teorier blev udviklet, før digitaliseringen for alvor slog igennem med realtidsdata, platformsøkonomi og automatiserede kontrakter. Derfor mangler teorierne muligvis en præcis beskrivelse af, hvordan moderne digitale teknologier som AI, blockchain og cloud computing faktisk kan forbedre forsyningskæders modstandsdygtighed (Ivanov, et al., 2019; Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024).

Globale forsyningskæder står således i dag over for komplekse risici, som traditionelle værktøjer inden for økonomistyring ikke længere kan håndtere effektivt. Supply Chain 4.0 (SC4.0) og Industry 4.0 (I4.0) introducerer nye digitale muligheder, men konkret viden om, hvordan disse teknologier kan styrke robustheden i hele værdikæden, er stadig begrænset (Wu, et al., 2025).

1.2 Problemformulering

Projektet undersøger derfor følgende overordnede problemstilling:
Hvordan kan action-orienterede digitale teknologier (AI, blockchain og cloud computing) bidrage til identificering, vurdering og håndtering af forsyningskæderisici og dermed styrke forsyningskædens robusthed?
For at kunne undersøge dette på en struktureret måde, anvendes bullwhip-effekten som et tydeligt eksempel på en klassisk forsyningskæderisiko.

Analysen bygges op omkring fire konkrete arbejdsspørgsmål (RQ'er), som hver især hjælper med at besvare forskellige dele af den samlede problemstilling:

- *RQ1: Teknologiimplementering*
  Hvordan anvendes AI, blockchain og cloud computing til risikostyring og styrkelse af forsyningskædens robusthed ifølge litteraturen?
- *RQ2: Kapabilitetspåvirkning*
  Hvordan påvirker implementeringen af AI, blockchain og cloud de syv SCRES-kapabiliteter, som beskrevet af Ponomarov & Holcomb (2009)?
- *RQ3: Effekter på SCRES-faser*
  På hvilke måder og i hvilke af SCRES-faserne (forebyggelse, respons, genopbygning) bidrager AI, blockchain og cloud computing til forsyningskædens resiliens, jf. Ponomarov & Holcomb (2009)?
- *RQ4: Driverdæmpning*
  Hvordan afhjælper AI, blockchain og cloud de fire bullwhip-drivere gennem aktivering af Mentzers syv SCM-aktiviteter?

Til at besvare disse spørgsmål anvendes en systematisk litteraturgennemgang (SLR). Formålet med denne metode er at identificere og sammenfatte eksisterende forskning om anvendelsen af AI, blockchain og cloud computing i forhold til styring af forsyningskæderisici og styrkelse af resiliens. Fundene fra litteraturgennemgangen analyseres med afsæt i de teoretiske rammer af Mentzer (2001) om SCM-aktiviteter og Ponomarov & Holcomb (2009) om SCRES-kapabiliteter, hvorefter de perspektiveres med henblik på potentielle økonomistyringsmål, herunder kapitalbinding, likviditet og controllerens rolle.
Projektets hensigt er dermed ikke at levere definitive svar på teknologiens effekter, men snarere at afdække og nuancere, hvordan teknologierne potentielt kan bidrage til en mere robust forsyningskæde. Hermed søger projektet at bidrage med en mere konkret teoretisk forståelse og skabe et fundament for fremtidige empiriske undersøgelser, der kan teste og præcisere teknologiernes reelle virkning i praksis.

1.3 Afgrænsning

For at gøre projektet håndterbart er der foretaget klare afgrænsninger. Der fokuseres udelukkende på tre digitale teknologier, kunstig intelligens (AI), blockchain og cloud computing som i litteraturen

fremhæves som centrale action-oriented digitale teknologier (AODT) inden for SCM. Øvrige digitale teknologier behandles kun sekundært og i begrænset omfang.
Projektet fokuserer desuden kun på værdikæder for fysiske produkter inden for industrialiserede fremstillings- og detailbrancher. Servicekæder og digitale platformskæder er ikke inkluderet.
Risikoperspektivet afgrænses til seks generelle kategorier af forsyningskæderisici frem for specifikke eller virksomhedsnære risici. Bullwhip-effekten anvendes som illustrativ case for at diskutere teknologiens potentiale til at reducere risici, men der gennemføres ikke empirisk eller matematisk analyse af denne.
Metodisk er projektet rent teoretisk, baseret på en systematisk litteraturgennemgang (SLR) af eksisterende peer-reviewede engelsksprogede artikler. Grå litteratur anvendes sekundært efter kritisk vurdering. Der stilles primært kvalitetskrav om en CABS-ranking på niveau 2 eller højere, med enkelte undtagelser ved særlig relevans.
Projektet trækker alene på sekundære data, hvilket betyder, at resultaterne ikke empirisk kan valideres eller generaliseres direkte til konkrete virksomheder. Derudover anvendes teorier fra Mentzer (2001) og Ponomarov & Holcomb (2009), som oprindeligt blev udviklet før nutidens digitale udvikling, hvilket indebærer potentielle begrænsninger i teoriens forklaringskraft. Teknologiske udfordringer ved AI, blockchain og cloud computing, såsom datakompleksitet, integration og cybersikkerhedsrisici, anerkendes, men behandles ikke i dybden. Disse elementer foreslås som perspektiver til fremtidige empiriske undersøgelser.

1.4 Begrebsafklaring

Tabel 1: Begrebsafklaring

Kategori	Begreb (Forkortelse)	Definition og uddybning	Kilde
Kernekoncepter	Supply Chain Management (SCM)	Den strategiske koordinering af aktiviteter og processer på tværs af virksomheder for at maksimere samlet værdiskabelse.	Mentzer et al. (2001)
	Supply Chain Resilience (SCRES)	Forsyningskædens evne til at forebygge, respondere på og hurtigt genoprette drift efter disruptioner.	Ponomarov & Holcomb (2009)
	Bullwhip-effekten (BW)	Et fænomen, hvor små efterspørgselsændringer hos slutkunden forstærkes op gennem forsyningskæden, typisk drevet af forecast-opdateringer, ordre-batching, pris-promotion og rationering/gaming.	Lee et al. (1997)
	SCRES-kapabiliteter	Agility, fleksibilitet, transparens, redundans, samarbejde, videnintegration og tilpasningsevne kapabiliteter der muliggør effektiv risikostyring.	Ponomarov & Holcomb (2009)
	Supply Chain Risk Management (SCRM)	Systematiske metoder og praksisser til identificering, vurdering og styring af risici på tværs af hele værdikæden.	Chopra & Sodhi (2004)
Digitale teknologier (AODT)	Action-Oriented Digital Technologies (AODT)	Digitale teknologier, der proaktivt omsætter realtidsdata til handlinger for forbedret beslutningstagning. Her specifikt AI, blockchain og cloud.	Wu et al. (2025)
	Kunstig intelligens (AI)	Computersystemer, der gennem maskinlæring (ML), deep learning og prescriptive analytics kan forudsige, identificere mønstre og automatisk optimere handlinger.	Wu et al. (2025)
	Blockchain (BC)	Decentraliseret, konsensusbaseret digitalt register, der sikrer transparens, dataintegritet og automatiserede transaktioner via smart contracts.	Wu et al. (2025) Min (2019)
	Cloud Computing (CC)	Virtuel IT-infrastruktur (IaaS), platforme (PaaS) og softwareløsninger (SaaS), som tilbyder fleksibel og skalerbar databehandling, lagring og deling i realtid.	Wu et al. (2025)
Forskningsdesign	Hovedspørgsmål (HQ)	Overordnet spørgsmål, der styrer projektets retning og formål med undersøgelsen af teknologiernes rolle i SCM-risikostyring og robusthed.	Egen formulering
	Forskningsspørgsmål (RQ'er)	Fire delspørgsmål: RQ1 (teknologi-implementering), RQ2 (kapabilitetspåvirkning), RQ3 (bidrag i SCRES-faser) og RQ4 (dæmpning af bullwhip-drivere).	Egen formulering
	Systematisk Litteraturreview (SLR)	Metodisk tilgang, hvor litteratur analyseres systematisk og transparent baseret på foruddefinerede inklusions- og eksklusionskriterier.	Shaffril et al., 2020
	Chartered Association of Business Schools (CABS)	Anerkendt ranking-system for vurdering af tidsskrifters videnskabelige kvalitet. CABS ≥2 anvendes som kvalitetsgrænse for kilder i projektet.	CABS (2021)

1.5 Strukturoversigt

Specialet består af fem kapitler, som tilsammen besvarer projektets hovedspørgsmål samt de fire uddybende forskningsspørgsmål (RQ1-4).

Kapitel 1 udgør projektets indledning. Her beskrives baggrunden for stigende forsyningskæderisici, og projektets problemstilling præsenteres sammen med de tilhørende forskningsspørgsmål. Kapitlet indeholder desuden en klar præsentation af projektets centrale afgrænsninger.

Kapitel 2 opstiller den teoretiske ramme. Først præsenteres centrale aktiviteter inden for Supply Chain Management (SCM) med udgangspunkt i Mentzer et al. (2001). Derefter introduceres bullwhip-effekten som en illustrativ og central forsyningskæderisiko. Dernæst forklares begrebet Supply Chain Resilience (SCRES) med de tilhørende syv kapabiliteter ifølge Ponomarov & Holcomb (2009). Endelig beskrives action-orienterede digitale teknologier (AODT), kunstig intelligens (AI), blockchain (BC) og cloud computing (CC), som projektets analytiske genstandsområde.

I kapitel 3 præsenteres projektets metode. Her forklares den systematiske litteraturgennemgang (SLR), der udgør projektets metodiske fundament. Der redegøres grundigt for, hvordan relevante artikler udvælges via en struktureret søgeprotokol med specifikke inklusions- og eksklusionskriterier, samt hvordan artiklerne kvalitetsvurderes ved hjælp af CABS-rankingen. Desuden beskrives, hvordan projektet håndterer mulige bias og sikrer datagrundlagets validitet og transparens.

Kapitel 4 indeholder analysen af projektets data og resultater. For at skabe overskuelighed og undgå redundans integreres resultaterne fra RQ1 (teknologiimplementering), RQ2 (påvirkning af SCRES-kapabiliteter) og RQ3 (bidrag i SCRES-faserne) i en samlet analyse af identificerede use-cases. Disse use-cases fungerer således som fælles ramme, der tydeliggør sammenhængene mellem de tre forskningsspørgsmål. Afslutningsvist illustreres resultaternes anvendelighed i forhold til at dæmpe bullwhip-effekten (RQ4), hvor de samlede fund fra RQ1-3 anvendes som konkret eksempel.

Det afsluttende kapitel 5 præsenterer projektets diskussion og konklusion. Her gennemgås resultaterne samlet med fokus på, hvordan de tre teknologier relaterer sig til de identificerede kapabiliteter og SCRES-faser. Resultaterne diskuteres i forhold til centrale økonomiske mål, især kapitalbinding og likviditet, og sættes i relation til bullwhip-effekten. Der foretages samtidig en kritisk vurdering af projektets begrænsninger, eksempelvis brugen af sekundære data, teorirammernes aktualitet og potentielle teknologiske udfordringer. Kapitlet peger også på muligheder for fremtidig forskning. Afslutningsvis præsenteres en konklusion, der klart og samlet besvarer hovedspørgsmålet samt de fire forskningsspørgsmål.

2.0 Teori

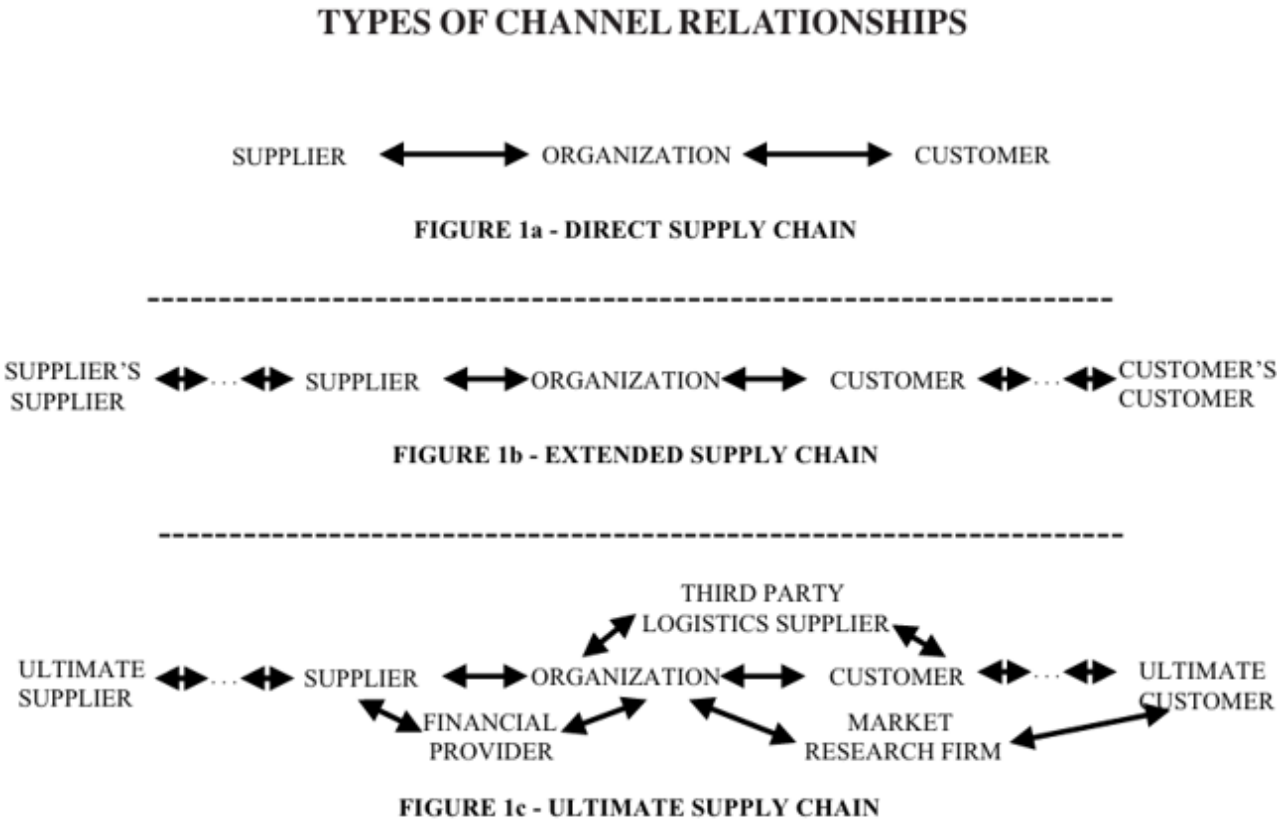
Dette kapitel etablerer den teoretiske ramme, som resten af specialet bygger på. Først præsenteres de grundlæggende principper i Supply Chain Management med udgangspunkt i (Mentzer, et al., 2001) for at tydeliggøre de aktiviteter, der skal koordineres på tværs af en forsyningskæde. Dernæst introduceres centrale risikoperspektiver (Chopra & Sodhi, 2004), hvor bullwhip-effekten fremhæves som et klassisk eksempel på, hvordan små udsving kan forstærkes op gennem kæden (Lee, et al., 1997). Kapitlet fortsætter med en gennemgang af Supply Chain Resilience-begrebet og de syv tilhørende kapabiliteter beskrevet af Ponomarov & Holcomb (2009). Afslutningsvis beskrives action-oriented digitale teknologier—kunstig intelligens, blockchain og cloud computing—som mulige redskaber til at reducere risici og styrke robustheden. Samlet skaber kapitlet et integreret begrebsapparat, som danner grundlag for den efterfølgende analyse af, hvordan digitale teknologier kan understøtte en mere resilient og effektiv forsyningskæde.

2.1 SCM Mentzer et al. (2001)

(Mentzer, et al., 2001) præsenterer Supply Chain Management (SCM) som en strategisk disciplin, der handler om at koordinere aktiviteter på tværs af virksomheder med det formål at maksimere den samlede værdiskabelse i forsyningskæden. Centralt i denne tilgang er en helhedsorienteret forståelse af forsyningskæden som et integreret system med gensidige afhængigheder. Dette afsnit etablerer således et fundamentalt begrebsapparat, som skal skabe en samlet forståelse af, hvordan værdiskabelse opnås gennem koordinerede processer, fælles målsætninger og informationsudveksling. Hermed danner Mentzers perspektiv en central basis for resten af teoriafsnittet og opgaven generelt.

2.1.1 Forsyningskæde vs. Supply Chain Management

Mentzer et al. (2001) beskriver en forsyningskæde som det samlede netværk af virksomheder og processer, der flytter varer eller services fra råvareled til slutkunde. De skelner mellem tre niveauer af kompleksitet i forsyningskæder, som illustreret i figur 1, hvor direkte forsyningskæde består blot af en leverandør, en virksomhed og en kunde, den udvidede forsyningskæde, som også inkluderer leverandørers leverandører og kunders kunder og endelig den ultimative forsyningskæde, der omfatter samtlige aktører fra første leverandør til slutforbruger.



Figur 1: De tre kompleksitetsniveauer af forsyningskæder
Kilde: (Mentzer, et al., 2001)

Vigtigt er det, at disse forsyningskæder eksisterer uanset graden af ledelse, da materialer, informationer og finansielle strømme altid bevæger sig mellem virksomheder, selv hvis ingen aktivt styrer dem.

Supply Chain Management (SCM) handler derimod om den bevidste og strategiske styring af disse strømme. Mentzer et al. definerer SCM som *"den systematiske og strategiske koordinering af traditionelle forretningsfunktioner og taktikker, både internt og på tværs af virksomheder i forsyningskæden, med det formål at forbedre den langsigtede performance for både de enkelte virksomheder og kæden som helhed"* (Mentzer, et al., 2001). Denne definition understreger, at SCM indebærer integration på tværs af virksomheder og funktioner samt en forståelse af værdiskabelse som noget, der skal optimeres for hele kæden, frem for blot enkelte virksomheder.

Definitionen blev introduceret som en reaktion på en historisk begrebsforvirring op gennem 1990'erne, hvor SCM blev defineret på mange forskellige måder, blandt andet som en ledelsesfilosofi, implementering af en filosofi eller som specifikke ledelsesprocesser. (Mentzer, et al., 2001) ønskede derfor at skabe klarhed gennem en samlet, entydig definition, der fremhæver betydningen af fælles mål og strategisk koordination som afgørende for at opnå

konkurrencemæssige fordele og højere værdiskabelse i forsyningskæden. Dette perspektiv fungerer som fundament for resten af projektets analyse af, hvordan digitale teknologier kan styrke forsyningskædens robusthed.

2.1.2 Supply Chain Orientation (SCO) vs. SCM

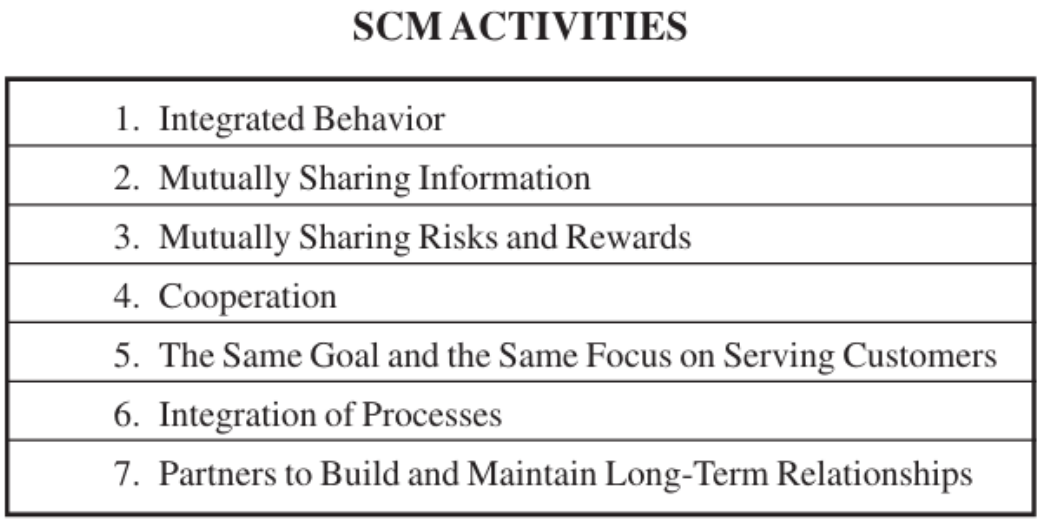
Mentzer et al. (2001) understreger, at man bør skelne mellem en virksomheds interne holdning til samarbejde i forsyningskæden, som forfatterne kalder for Supply Chain Orientation (SCO) og den faktiske gennemførelse af Supply Chain Management (SCM). SCO defineres som virksomhedens forståelse af forsyningskædens samlede betydning, og især evnen til at se konsekvenserne af egne beslutninger både op- og nedstrøms i kæden. En SCO betyder med andre ord, at virksomheden erkender, at ændringer i indkøb, produktion eller distribution påvirker leverandører og kunder, og at ledelsen derfor har en helhedsorienteret tilgang til forsyningskæden (Mentzer, et al., 2001).

Dog er en intern orientering alene ikke nok til at sikre egentlig SCM. Mentzer et al. forklarer, at SCM først opstår, når flere virksomheder deler denne orientering og aktivt koordinerer deres indsatser på tværs af kæden. De opsummerer denne forskel klart: *"En Supply Chain Orientation er en ledelsesfilosofi, mens Supply Chain Management er summen af de konkrete ledelseshandlinger, der gennemføres for at realisere denne filosofi"* (Mentzer, et al., 2001). En virksomhed kan altså godt have en stærk SCO uden at opnå egentlig SCM, hvis ikke virksomhedens partnere deler samme forståelse.
Enkeltstående tiltag som Just-In-Time-levering eller EDI-integration med enkelte partnere udgør således ikke fuld SCM, medmindre disse tiltag indgår i en bredere, strategisk koordineret indsats på tværs af hele forsyningskæden.
Denne skelnen er relevant for projektet, da den viser nødvendigheden af en fælles strategisk forståelse hos forsyningskædens virksomheder, før digitale teknologier effektivt kan implementeres på tværs af værdikæden.

2.1.3 De syv SCM-aktiviteter

For at omsætte Supply Chain Management fra filosofi til praksis identificerer Mentzer et al. (2001) syv centrale aktiviteter, der udgør det operationelle fundament for SCM. Disse aktiviteter bygger på

tidligere forskning og betragtes som nødvendige for at realisere SCM-filosofien i praksis.



Figur 2 De syv SCM-aktiviteter
Kilde: (Mentzer, et al., 2001)

Figur ovenfor opsummerer de syv SCM-aktiviteter, som ifølge Mentzer et al. (2001) tilsammen udgør fundamentet for implementeringen af Supply Chain Management i praksis. Disse syv aktiviteter er resultatet af en syntese af tidligere forskning og anses for nødvendige for at implementere SCM-filosofien. Først og fremmest fremhæves integreret adfærd, hvilket indebærer, at virksomhederne handler som en samlet enhed på tværs af kæden. Integration skal ikke kun foregå internt i den enkelte virksomhed, men også udstrækkes til eksterne partnere som kunder og leverandører, således at handlinger og beslutninger koordineres hele vejen gennem forsyningskæden. (Mentzer, et al., 2001) pointerede, at virksomheder skal udvide deres interne integration til også at omfatte kunder og leverandører. således at handlinger og beslutninger koordineres hele vejen gennem forsyningskæden.

En anden aktivitet er informationsdeling, hvor virksomhederne løbende udveksler relevante data, såsom efterspørgselsprognoser, lagerstatus, produktionsplaner samt salgs- og marketingaktiviteter. Formålet med informationsdeling er at skabe fælles indsigt og mindske usikkerhed, hvilket er nødvendigt for effektiv koordination.

Den tredje aktivitet handler om deling af risici og gevinster. Virksomhederne skal her være enige om, hvordan risici, som eksempelvis efterspørgselsudsving og store investeringer, samt gevinster som omkostningsbesparelser eller øget profit, skal fordeles imellem dem. Denne aktivitet understøtter en retfærdig og langsigtet samarbejdskultur og modvirker kortsigtede og egoistiske beslutninger (Mentzer, et al., 2001).

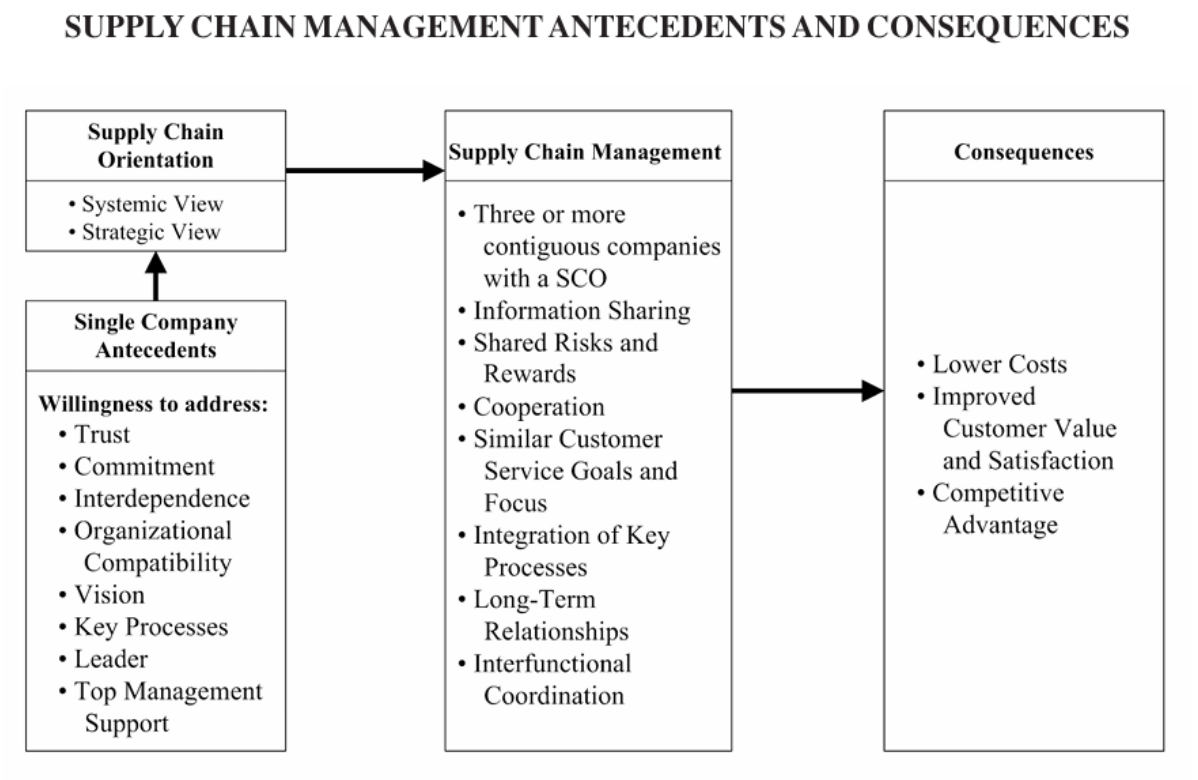
Den fjerde aktivitet er samarbejde i sig selv er et tæt samarbejde mellem kædens medlemmer er nødvendigt for effektiv SCM (Mentzer, et al., 2001). Samarbejde betyder her koordination af beslutninger og handlinger, der rækker ud over enkeltstående transaktioner, og involverer fælles planlægning. Dermed sikres, at kædens samlede ressourcer udnyttes optimalt.

En femte aktivitet handler om etablering af fælles mål og et klart kundefokus. Her skal alle aktører i forsyningskæden enes om fælles overordnede mål, der har til formål at optimere kædens samlede værdi frem for optimere egen afdelings eller virksomheds mål. Det indebærer også, at der opnås enighed om, hvordan man bedst tilfredsstiller slutkundens behov. (Mentzer, et al., 2001).
Sjette aktivitet er procesintegration, hvilket vil sige at virksomhedernes interne processer som indkøb, produktion og distribution kobles sammen med deres eksterne partnere. Procesintegration kan fx ske gennem tværfunktionelle teams, fælles logistikløsninger eller ved at medarbejdere fra leverandører arbejder tæt sammen med producenten. Målet er at sikre et effektivt flow af varer og informationer gennem hele kæden.
Syvende og sidste SCM-aktivitet er etablering af langsigtede partnerskaber mellem kædens medlemmer. I stedet for ad hoc transaktioner fokuserer SCM på at bygge vedvarende relationer baseret på tillid, gensidighed og fælles udvikling, således at parterne i fællesskab kan opnå forbedringer over tid. Mentzer et al. (2001) betoner, at SCM grundlæggende "består af en række partnerskaber" og således forudsætter, at virksomheder indgår i og vedligeholder langsigtede relationer (Mentzer, et al., 2001).

Samlet set udgør disse syv aktiviteter ifølge Mentzer et al. (2001) et praktisk fundament for implementeringen af SCM. Dette fundament danner også den analytiske ramme, hvori projektet senere undersøger, hvordan digitale teknologier kan understøtte og styrke forsyningskædens robusthed (Mentzer, et al., 2001).

2.1.4 SCM-forudsætninger og konsekvenser

Mentzer et al. (2001) beskriver Supply Chain Management som et resultat af en klar kæde af årsager, processer og effekter, hvilket fremgår af Figur 3.



Figur 3 SCM-forudsætninger og konsekvenser
Kilde: (Mentzer, et al., 2001)

Modellen illustrerer, at den enkelte virksomhed først må etablere en række interne forudsætninger, betegnes som interne forudsætninger. Disse forudsætninger omfatter blandt andet virksomhedens evne til at skabe tillid, organisatorisk kompatibilitet, gensidigt engagement og en tydelig, fælles vision understøttet af virksomhedens topledelse (jf. afsnit 2.1.2).
SCO fungerer som et vigtigt mellemtrin, hvor virksomhederne begynder at tænke forsyningskæden som en helhed fremfor kun at fokusere på egen virksomheds interesser. En fælles SCO gør det muligt for virksomhederne at implementere de konkrete SCM-aktiviteter (jf. afsnit 2.1.3).
Modellen viser desuden, at effektiv SCM fører til konkrete, såsom lavere samlede omkostninger, forbedret kundetilfredshed og styrket konkurrenceevne for hele forsyningskæden.
På den måde illustrerer modellen tydeligt, at SCM ikke bare opstår af sig selv, men kræver, at virksomheder først har styr på interne forudsætninger, hvorefter de kan opnå fordele gennem fælles koordinering.

Samlet viser modellen, at SCM ikke opstår automatisk, men kræver et samspil mellem virksomhedens interne organisatoriske forudsætninger, en fælles SCO på tværs af virksomheder, og konkrete aktiviteter til koordinering. Denne forståelse er central for specialet, da den tydeliggør, hvorfor digitale teknologier først kan bidrage til forsyningskædens robusthed, når disse organisatoriske og relationelle forudsætninger er til stede. Dette perspektiv skaber derfor en naturlig kobling mellem teorien og projektets senere vurdering af, hvordan action-oriented digitale teknologier kan bidrage til bedre koordination og risikostyring i forsyningskæden.

2.1.5 Relationelle og digitale forudsætninger

Effektiv Supply Chain Management kræver, at virksomhederne i forsyningskæden både har de rette relationelle og teknologiske forudsætninger på plads. På det relationelle plan spiller især tillid og engagement en vigtig rolle. Manglende tillid kan føre til frygt for, at samarbejdspartnerne handler opportunistisk, hvilket får virksomhederne til at holde afgørende informationer tilbage og afstå fra at investere i fælles initiativer (Mentzer, et al., 2001; Pandey, et al., 2021). Samtidig sikrer et højt gensidigt engagement, at virksomhederne forpligter sig til langsigtede partnerskaber og dermed arbejder mod fælles mål frem for kortsigtede gevinster (Mentzer, et al., 2001). Netop disse to faktorer er afgørende for at omsætte den strategiske forsyningskædeorientering (SCO), som tidligere blev præsenteret (jf. afsnit 2.1.2), til konkrete handlinger.
For at understøtte denne relationelle dimension kræves også en robust digital infrastruktur. Allerede i 2001 blev Electronic Data Interchange (EDI) fremhævet som en teknologisk forudsætning for effektiv informationsdeling mellem virksomhederne i kæden (Mentzer, et al., 2001). I dag er disse digitale værktøjer udvidet betydeligt og inkluderer ERP-platforme, cloudbaserede løsninger, blockchain, Internet of Things (IoT) og kunstig intelligens (AI). Nyere studier peger på, at blockchain eksempelvis kan styrke tilliden mellem virksomheder ved at skabe transparens, mindske informationsasymmetri og etablere det, forskningen kalder "swift trust" (Han & Fang, 2023; Lohmer, et al., 2020). Omvendt er stærke relationelle partnerskaber en vigtig forudsætning for succesfuld implementering af sådanne digitale teknologier, idet disse ofte kræver, at virksomhederne allerede har tillid og et tæt samarbejde (Min, 2019; Manzoor, et al., 2024).

Relationelle og digitale forudsætninger understøtter således gensidigt hinanden: Selv den mest avancerede teknologi mister sin værdi, hvis parterne ikke har den nødvendige tillid og det engagement, der skal til for at anvende den effektivt. I denne opgave anerkendes derfor, at både sociale og tekniske forudsætninger spiller en rolle. Analysen i kapitel 4 fokuserer imidlertid primært på den teknologiske parathed, mens de relationelle forhold behandles som bagvedliggende forudsætninger, der diskuteres kvalitativt, men ikke undersøges særskilt.

2.1.6 SCM som fundament for Supply Chain Resilience (SCRES)

En væsentlig årsag til, at SCM-teorien er relevant i relation til forsyningskæderesiliens (SCRES), er at en velfungerende forsyningskæde baseret på integration, samarbejde og informationsdeling generelt er mere modstandsdygtig over for risici og uventede hændelser. Supply Chain Resilience henviser til forsyningskædens evne til at modstå, tilpasse sig og hurtigt genoprette normal drift efter disruptions. Ifølge (Baryannis, et al., 2019) er koordineret og kollaborativ risikostyring netop det, som reducerer sårbarheden og dermed øger robustheden i en forsyningskæde. Dette bekræftes af (Petratos & Faccia, 2023), som fremhæver, at informationsdeling og synlighed på tværs af kæden er centrale elementer i effektiv risikostyring.

Digitale teknologier kan yderligere styrke denne robusthed, men kun når de bygger på et eksisterende fundament af samarbejde og integration. Nyere studier understreger således, at teknologier som cloud computing, blockchain og kunstig intelligens primært skaber værdi, når virksomhederne bruger dem til at understøtte fælles informationsdeling og transparens (Ismail, et al., 2025). Eksempelvis viser (Hong & Hales, 2024), hvordan blockchain-teknologi giver størst effekt, når efterspørgselsdata deles åbent mellem kunder og leverandører, således at begge parter hurtigt kan reagere på ændringer.

Disse sammenhænge er centrale for dette projekt. I analysen (kapitel 4) undersøges det derfor, hvordan AI, blockchain og cloud computing ifølge litteraturen typisk kan understøtte vigtige SCM-aktiviteter såsom informationsdeling, procesintegration og fælles risikostyring. Projektet vurderer herefter kvalitativt, hvordan disse teknologier potentielt kan styrke forsyningskædens resiliens, med bullwhip-effekten som et konkret illustrativt eksempel. Formålet er således at belyse teknologiens teoretiske muligheder.

2.1.7 Udfordringer og teoretiske gaps

Selvom Supply Chain Management-principper som integration, informationsdeling og fælles risikostyring er bredt accepterede, viser nyere studier, at det fortsat er vanskeligt for virksomheder at implementere dem i praksis. Manglende tillid, interne siloer og frygten for opportunistisk adfærd gør ofte, at virksomheder tilbageholder vigtig information eller undlader fælles investeringer, hvilket forhindrer forsyningskæden i at fungere optimalt og bidrager til bullwhip-effekten (Chauhan, et al., 2023; Petratos & Faccia, 2023; Mentzer, et al., 2001).
Samtidig fremhæver litteraturen, at digitale teknologier som AI, blockchain og cloud kun skaber værdi, hvis virksomhederne allerede har etableret et grundlæggende samarbejde (Min, 2019; Petratos & Faccia, 2023). For eksempel kræver implementering af blockchain, at parterne er enige om, hvilke data der deles, og hvordan de bruges (Sutar, et al., 2025). Nogle studier peger dog på, at

blockchain-teknologiens evne til at sikre dataintegritet måske delvist kan erstatte traditionel relationel tillid (Akram, et al., 2024). Det er dog uklart, om dette kan reducere behovet for stærke relationelle partnerskaber i praksis, og der mangler fortsat flere empiriske studier på området.
Desuden bygger SCM-teorien ofte på en idealiseret forestilling om en samlet forsyningskæde. I virkeligheden arbejder virksomheder ofte inden for flere overlappende netværk, hvor både samarbejde og konkurrence eksisterer side om side (Guo, et al., 2025). Hvordan man bedst styrer disse komplekse netværk er fortsat kun delvist beskrevet i litteraturen, og der savnes klare modeller og cases, som viser, hvordan dynamiske partnerskaber bedst håndteres.
Endelig diskuteres det stadig, hvordan man bedst kan balancere menneskelige relationer og digital teknologi i forsyningskæden.
Disse udfordringer understreger relevansen af nærværende projekt. Ved at undersøge, hvordan AI, blockchain og cloud ifølge litteraturen kan understøtte informationsdeling, integration og fælles risikostyring (kapitel 4), kan projektet bidrage med viden om teknologiens potentiale til at reducere eksisterende barrierer og styrke forsyningskædens resiliens med bullwhip-effekten som konkret eksempel.

2.2 Forsyningskæderisici

En grundlæggende forudsætning for effektiv risikostyring i forsyningskæder er at forstå, hvilke risici der kan true den normale drift. (Chopra & Sodhi, 2004) identificerer otte typer af risici, som af hensyn til overskuelighed i dette projekt er grupperet i seks kategorier, da flere af risikotyperne overlapper.
Eksterne risici dækker hændelser, som ligger uden for virksomhedernes kontrol. Disse inkluderer naturkatastrofer, epidemier, politisk uro og økonomiske kriser, som alle kan forstyrre eller helt afbryde forsyningskæden. COVID-19-pandemien viste eksempelvis tydeligt, hvordan globale nedlukninger og rejserestriktioner skabte massive flaskehalse og logistiske udfordringer verden over (Queiroz, et al., 2022). Andre eksempler er jordskælvene i Taiwan i 1999 og Japan i 2011, som ramte henholdsvis Apples og Toyotas produktion alvorligt (Vieira, et al., 2020).

Efterspørgselsrisici opstår, når efterspørgslen pludseligt ændrer sig, eller når prognoser er usikre. Denne type risici hænger tæt sammen med bullwhip-effekten, hvor mindre udsving hos kunderne forstørres op gennem forsyningskæden. Under COVID-19-pandemien oplevede flere brancher netop dette, da efterspørgslen efter værnemidler og dagligvarer steg brat, hvorefter efterspørgslen faldt kraftigt og skabte lagermæssige udfordringer.

Forsyningsrisici vedrører leverandørproblemer og råvaremangel, som eksempelvis forsinkelser, kvalitetsfejl eller afhængighed af få leverandører. Et kendt eksempel er branden hos Ericssons leverandør i 2000, der førte til store økonomiske tab, da virksomheden ikke havde alternative leverandører klar (Chopra & Sodhi, 2004; Vieira, et al., 2020). Oversvømmelserne i Thailand i 2011, som ramte produktionen af harddiske, skabte lignende udfordringer for globale pc-producenter (Vieira, et al., 2020).

Proces- og operationsrisici handler om interne udfordringer i virksomhedernes drift og produktion. Disse inkluderer bl.a. maskinnedbrud, utilstrækkelig produktionskapacitet og problemer med kvalitetskontrol. Dells tilbagekaldelse af fire millioner laptop-batterier i 2006 på grund af kvalitetsproblemer hos en underleverandør er et godt eksempel på, hvordan interne processer hurtigt kan skabe betydelige omkostninger og logistiske udfordringer (Vieira, et al., 2020).

Informationsrisici opstår ved fejl eller angreb på virksomheders IT-systemer og data. Denne type hændelser understreger behovet for robuste IT-systemer og sikker datainfrastruktur.

Bullwhip-risici beskriver dominoeffekten, hvor en lokal forstyrrelse hurtigt spredes og forstærkes gennem hele forsyningskæden. COVID-19 viste dette, da kinesiske nedlukninger resulterede i, at europæiske bilproducenter måtte lukke midlertidigt på grund af manglende komponenter (Li, et al., 2021).

Bullwhip-effekten er valgt som illustrativ case i dette projekt, fordi den klart og enkelt demonstrerer, hvordan en relativt lille og lokal forstyrrelse hurtigt kan eskalere og skabe omfattende konsekvenser gennem forsyningsnetværket. Effekten tydeliggør også vigtigheden af integration og informationsdeling på tværs af virksomhederne i kæden, netop de områder, hvor digitale teknologier som AI, blockchain og cloud computing kan gøre en væsentlig forskel.

2.3 Bullwhip-effekten

Formålet med dette afsnit er at præsentere bullwhip-effekten som en målbar og illustrativ risiko i forsyningskæder, der tydeligt demonstrerer behovet for supply chain resilience (SCRES).

2.3.1 Definition og historisk gennemgang

Bullwhip-effekten beskriver det velkendte mønster, hvor små udsving i kundernes efterspørgsel forstærkes, jo længere man bevæger sig opad i forsyningskæden (Forrester, 1961; Lee, et al., 1997). Jay W. Forrester viste med systemdynamiske modeller, at interne beslutningsregler og forsinket information kan omsætte ganske beskedne salgsvariationer til markante produktions- og lager-udsving. Logistikchefer hos Procter & Gamble gav fænomenet sit nuværende navn i 1990'erne, da de observerede store ordrefluktuationer på ellers stabile varer som Pampers. (Lee, et al., 1997) dokumenterede siden, hvordan disse forvrængede signaler fører til overflødige lagre, kapacitetsspild og dårlig kundeservice. Bullwhip-effekten er derfor et illustrativt case-objekt i dette projekt: den sætter fokus på, hvordan beslutningsadfærd og informationskvalitet driver ineffektivitet og hvordan digitale teknologier potentielt kan bryde forstærkningskæden. Næste afsnit (2.3.2) gennemgår de fire mekanismer, der udløser effekten, som baggrund for analysen.

2.3.2 De fire drivere af bullwhip-effekten

Lee et al. (1997) identificerede fire centrale drivere af bullwhip-effekten, som skyldes typiske adfærds- og beslutningsmønstre i forsyningskæder (Lee, et al., 1997).
For det første opstår bullwhip-effekten, når virksomheder i forsyningskæden baserer deres ordrebeslutninger på løbende opdaterede prognoser af lokal efterspørgsel. Små ændringer forstærkes, når hvert led tilføjer ekstra sikkerhedslagre for at imødegå prognoseusikkerhed. Dermed forvrænges det oprindelige efterspørgselssignal, hvilket kan føre til markante udsving højere oppe i kæden (Lee, et al., 1997; Shen & Sun, 2021). Denne mekanisme blev blandt andet tydeligt demonstreret i det velkendte Beer Game-eksperiment udviklet på MIT, hvor små efterspørgselsændringer medførte store udsving opad i kæden (Lee, et al., 1997).

Den anden centrale driver kaldes order batching og henviser til virksomhedernes tendens til at samle ordrer i større partier frem for kontinuerligt at afgive mindre ordrer. Order batching sker ofte for at opnå economies of scale i transport eller reducere administrative omkostninger, men resulterer samtidig i en ujævn ordrestrøm op igennem forsyningskæden (Lee et al., 1997). Denne praksis kan føre til perioder med få eller ingen ordrer efterfulgt af store ordrebølger, hvilket skaber en kunstig volatilitet i efterspørgslen for de højere led, selv hvis den endelige kundes efterspørgsel egentlig er relativt stabil (Forrester, 1961). Over tid fører dette til kunstigt skabte cyklusser og svingninger i produktion og lagerbeholdninger.

Prissvingninger, eller price fluctuations, er den tredje væsentlige driver bag bullwhip-effekten. Midlertidige kampagner, rabatter eller sæsonudsalg ændrer ofte virksomhedernes normale bestillingsmønstre. Denne midlertidige prisnedsættelse motiverer virksomheder til at opbygge ekstra lager gennem forward buying for at udnytte de lavere priser, hvilket efterfølgende skaber markante udsving i ordremængderne, når priserne vender tilbage til deres oprindelige niveau (Lee, et al., 1997). Allerede i 1960'erne observerede (Forrester, 1961), hvordan salgsfremmende kampagner kunne skabe kunstige cyklusser i efterspørgslen, der ikke reflekterer det egentlige marked.

Endelig identificerede (Lee, et al., 1997) shortage gaming som den fjerde driver. Denne driver refererer til en strategisk ordreadfærd, der opstår ved mangelsituationer, hvor leverandører rationerer varer proportionalt mellem kunderne. For at sikre en større andel af de knappe varer end deres reelle behov bestiller kunderne strategisk større mængder. COVID-19-pandemien demonstrerede tydeligt dette fænomen med panikkøb af eksempelvis toiletpapir og basale fødevarer, hvor detailhandlere og distributører lagde store ekstra ordrer for at imødegå rationering. Da efterspørgslen stabiliseredes igen, stod mange virksomheder med overfyldte lagre og overskudskapacitet. Denne type ordremønster skaber voldsomme og midlertidige udsving i forsyningskæden, der efterfølgende resulterer i produktionsoverskud og unødvendige omkostninger (Lee, et al., 1997).

Samlet set illustrerer disse fire drivere, hvordan særlige beslutningsmønstre i forsyningskæden kan skabe markante udsving i ordre- og produktionsniveauer. En forståelse af disse mekanismer er afgørende for effektivt at adressere bullwhip-effekten og dermed styrke forsyningskædens robusthed og økonomiske performance.

2.3.3 Økonomiske konsekvenser

Når prognoseopdateringer, order batching, priskampagner og shortage gaming optræder samtidig, forstærkes udsvingene markant og bevæger sig opstrøms i kæden. Derved bindes unødvendig kapital i lager, kapaciteten svinger mellem overbelastning og tomgang, og virksomheder presses til haste-produktion eller prisnedsættelser for at afvikle overskudslagre (Lee, et al., 1997; Chopra & Sodhi, 2004). Mangelfuld transparens forværrer problemet, jo flere led og jo mindre deling af efterspørgselsdata, desto større variabilitet og planlægningsineffektivitet (Petratos & Faccia, 2023). Resultatet ses i højere working capital, flere lagerdage (DIO) og lavere afkast på investeret kapital, mens servicegraden samtidig falder (An, et al., 2022).

De økonomiske konsekvenser af bullwhip-effekten understreger behovet for at forstå, hvordan sådanne udsving kan påvirke virksomheders finansielle resultater. Dette behov for indsigt leder til næste afsnit, som fokuserer på virksomheders evne til at styrke deres forsyningskæde resiliens gennem målrettet håndtering af bullwhip-effekten.

2.3.4 Bullwhip-effekten som indikator for behovet for SCRES

Bullwhip-effekten betragtes i dag som en af de væsentligste risikofaktorer for globale forsyningskæder, da den kan forstærke og accelerere virkningen af øvrige forstyrrelser. COVID-19-pandemien tydeliggjorde dette særligt kraftigt. De pludselige ændringer i forbrugsmønstre og stigende usikkerhed fik virksomheder til at reagere med overdrevne ordrer op igennem kæderne, en situation kendt som demand shock, hvilket skabte betydelige udsving mellem vareknaphed og overskudslagre i flere brancher (Shen & Sun, 2021). Tidligt i pandemien kunne der således observeres klassiske tegn på bullwhip-effekten, hvor chok i både udbud og efterspørgsel resulterede i opstrøms ordreudsving, der igen medførte vekslende perioder med vareknaphed og prisstigninger efterfulgt af overskydende kapacitet, høje lagerbeholdninger og prisfald (Kouvelis, 2022). Med andre ord gik forsyningskæder fra tomme hylder og prisstigninger til pludselig overflod og faldende priser, alt som resultat af forvrængede signaler. Dette skete bl.a. for medicinsk udstyr, fødevarer og forbrugsgoder i pandemiens første fase.

Erfaringerne fra COVID-19 har således genbekræftet relevansen af bullwhip-effekten og vigtigheden af at modvirke den. I lyset af pandemien er Supply Chain Resilience (SCRES) kommet i fokus som en nødvendighed (Shen & Sun, 2021). For det første kræver modvirkning af bullwhip tværgående koordinering og gennemsigtighed i kæden. Hvis alle led deler efterspørgselsdata og planer, eksempelvis gennem digitale platforme, ERP-systemer eller et samarbejde om prognoser, mindskes

usikkerheden og behovet for at reagere defensivt på lokale signaler (Shen & Sun, 2021). Klassiske modtiltag inkluderer f.eks. Vendor-Managed Inventory (VMI) og Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR), hvor producent og detailled synkroniserer ordrer baseret på faktisk salg. Gennemsigtighed reducerer både prognosefejl, batch-størrelser (pga. hyppigere genopfyldning) og behovet for shortage gaming, da alle parter kender den reelle efterspørgselssituation. For det andet handler resiliens om smidighed og tilpasningsevne. Virksomheder med fleksible leverandører, agil produktion og decentraliserede lagre kan hurtigere reagere på udsving uden at skulle kompensere voldsomt (Vieira, et al., 2020). Et eksempel er den kinesiske e-handelsvirksomhed JD.com, som under pandemien opererede med en integreret forsyningskæde uden mange mellemled. Dette gav virksomheden direkte indsigt i forbrugernes efterspørgsel og mulighed for hurtige justeringer, hvilket dæmpede bullwhip-effekten og opretholdt forsyningen trods store markedsudsving (Shen & Sun, 2021). Generelt gælder, at jo mere resilient, altså robust og fleksibel, en forsyningskæde er, desto bedre kan den absorbere eller forkorte de svingninger, bullwhip-effekten skaber.

Erfaringerne fra COVID-19-pandemien har tydeligt understreget bullwhip-effektens relevans og samtidig vist, hvorfor det er nødvendigt at arbejde målrettet med supply-chain-resilience (SCRES). Aktuel forskning fremhæver særligt betydningen af koordinering og informationsdeling på tværs af forsyningskæden som afgørende faktorer for at reducere bullwhip-effekten. Når forsyningskædens forskellige led deler realtidsdata om salg, lagerstatus og produktionsplaner, eksempelvis gennem digitale platforme, ERP-systemer eller fælles prognoser, reduceres usikkerheden, der ellers fører til overdreven ordreadfærd såsom order batching og shortage gaming (Chopra & Sodhi, 2004; Petratos & Faccia, 2023; Dey, et al., 2024). I fødevareindustrien har det vist sig, at digitale integrationer, hvor aktører er forbundet gennem synlige og hurtige informationsstrømme, reducerer variabiliteten og dermed dæmper bullwhip-effekten betydeligt (Mavi & Mavi, 2022).
Ved siden af informationsdeling understreger litteraturen også vigtigheden af, at forsyningskæder opbygger agilitet og fleksibilitet for effektivt at imødegå bullwhip-effekten. Virksomheder, der benytter fleksible leverandørnetværk, modulær produktion samt kapacitets- og lagerbuffere eller strategier som multi-sourcing, er bedre rustet til at absorbere og tilpasse sig uventede udsving, uden behov for store kompensationer (Ivanov, et al., 2019; Dey, et al., 2024).
Samlet set viser nyere forskning, at kombinationen af høj informationsgennemsigtighed og strukturel fleksibilitet både kan mindske og udjævne bullwhip-effektens konsekvenser, og derved forbedre centrale økonomiske indikatorer som kapitalbinding, servicegrad og rentabilitet (Shen & Sun, 2021).

2.4 Supply-Chain Resilience Ponomarov & Holcomb

Hvor de foregående afsnit viste, hvorfor klassiske risici, med bullwhip-effekten som konkret eksempel, gør moderne værdikæder sårbare, løfter afsnit 2.4 blikket til hvordan denne sårbarhed

kan reduceres strukturelt. Der introducerer Ponomarov & Holcombs (2009) teoretiske ramme for Supply-Chain Resilience (SCRES), som supplerer Mentzers SCM-aktiviteter ved at fokusere på forsyningskædens evne til at modstå, tilpasse sig og genoprette efter uventede hændelser.

2.4.1 Definition af Supply Chain Resilience

En af de mest citerede definitioner på forsyningskæderesiliens stammer fra Ponomarov & Holcomb (2009). Ifølge dem er SCRES "*indebærer dette, at forsyningskæden har en tilpasningsevne der gør den i stand til at forberede sig på uventede begivenheder, reagere på forstyrrelser og komme sig efter dem, samtidig med at den opretholder driftskontinuiteten på et ønsket niveau af forbundethed og kontrol over kædens struktur og funktion*" (Ponomorov & Holcomb, 2009). Denne definition fremhæver tre centrale aspekter ved resiliens: forberedelse før en forstyrrelse, reaktion under hændelsen, og gendannelse til normal tilstand efterfølgende. SCRES-begrebet er således dynamisk og multidimensionelt, idet det omfatter hele forløbet omkring en disruption fra forberedelse til genopretning.

Det er værd at bemærke, at Ponomarov & Holcombs definition bygger på et omfattende litteraturreview og et konceptuelt rammeværk (Ponomorov & Holcomb, 2009). De anskuer forsyningskæderesiliens som et fænomen med rødder i flere discipliner (bl.a. risikostyring, organisatorisk læring og kompleksitetsteori) og betoner, at resiliens i forsyningskæden kræver en række underliggende kapabiliteter eller egenskaber (Ponomorov & Holcomb, 2009). I det følgende introduceres syv centrale SCRES-kapabiliteter, som litteraturen fremhæver som afgørende for en robust forsyningskæde (med udgangspunkt i Ponomarov & Holcomb, 2009 og relateret forskning).

2.4.2 Syv centrale SCRES-kapabiliteter

Ponomarov & Holcomb fremhæver syv kapabiliteter, der bidrager til forsyningskædens For at en forsyningskæde kan være resilient, skal den besidde eller udvikle en række kapabiliteter. Følgende syv kapabiliteter fremhæves ofte som afgørende for SCRES: agilitet, visibility, fleksibilitet, struktur og viden, reduceret usikkerhed, samarbejde og integration. Nedenfor gennemgås hver af disse og deres betydning for forsyningskædens robusthed.

Agilitet: Agilitet refererer til forsyningskædens evne til hurtigt at tilpasse sig ændringer og reagere effektivt på uforudsigelige begivenheder. En agil forsyningskæde kan *"respond quickly to unpredictable changes in demand or supply"* (Ponomorov & Holcomb, 2009), hvilket fx kan indebære hurtige omlægninger af produktion eller omdirigering af forsendelser. Agilitet bygger på elementer som hurtig beslutningstagning, *visibility* og hastighed i processerne (Ponomorov & Holcomb, 2009). Jo mere agil en forsyningskæde er, desto bedre kan den begrænse virkningen af en disruption ved straks at omstille sig til de nye betingelser. Agilitet betragtes derfor som en kernedimension af SCRES og fremhæves konsekvent som kritisk i litteraturen.

Synlighed: Synlighed betegner evnen til at få et klart overblik over materialer, informationer og processer på tværs af hele forsyningskæden. Christopher og Peck (2004) beskriver *supply chain visibility* som evnen til at *"see through the entire supply chain"* (Christopher & Peck, 2004), altså at

at alle aktører har adgang til rettidige og pålidelige informationer om efterspørgsel, lagerbeholdninger, transitstatus m.v. Høj synlighed gør det muligt tidligt at opdage afvigelser eller risici, hvilket igen reducerer usikkerhed og muliggør proaktive tiltag før en mindre forstyrrelse udvikler sig til en større krise. Synlighed forstærker desuden de øvrige kapabiliteter: eksempelvis er agilitet afhængig af, at beslutningstagere har det fulde overblik og kan handle på opdateret information. Manglende visibility eksempelvis *"information blindspots"* er derimod kendt for at øge sårbarheden i forsyningskæden (Christopher & Lee, 2004).

Fleksibilitet: Fleksibilitet handler om forsyningskædens evne til at ændre eller tilpasse sine processer, ressourcer og struktur, når omstændighederne kræver det. En fleksibel forsyningskæde kan f.eks. skifte leverandør eller transportform med kort varsel, skalere produktionen op eller ned efter behov, eller omfordele lagerbeholdninger geografisk ved forstyrrelser. Hvor agilitet ofte henviser til reaktionshastighed, fokuserer fleksibilitet på tilpasningsbredde*,* altså hvor mange forskellige alternative veje og muligheder, kæden råder over (Ponomorov & Holcomb, 2009). Høj fleksibilitet betyder, at kæden ikke er låst fast til en plan eller et setup, men kan omkonfigurere sig selv uden alt for store omkostninger eller tidsforsinkelser. Dette øger robustheden, da kæden kan absorbere eller omgå en påvirkning frem for at bryde sammen. Fleksibilitet kan opnås gennem tiltag som flerkilde-strategier (multiple sourcing), generiske komponenter, fleksible kontrakter og kapacitetsbuffere. Fleksibilitet betragtes både som en *proaktiv* kapabilitet (der øger beredskabet før en hændelse) og som en *reaktiv* kapabilitet (der gør respons og genopretning mere effektiv).

Struktur og viden**:** En forsyningskædes struktur omfatter det fysiske netværk af leverandører, fabrikker, lagre og distributionscentre samt de informationsstrømme, der forbinder dem. Viden refererer dels til aktørernes forståelse af denne struktur, altså hvilke noder og forbindelser der er særligt kritiske, dels til den organisatoriske læring, virksomhederne opbygger gennem tidligere disruption hændelser. For at denne viden kan omsættes til fælles handling, må partnerne, (jf. afsnit 2.1.2) begreb *Supply Chain Orientation* (SCO). (Mentzer, et al., 2001) fremhæver i denne sammenhæng begrebet *Supply Chain Orientation* (SCO), som er en fælles erkendelse af, at taktiske beslutninger et sted har strategiske konsekvenser for hele forsyningskæden. Denne fælles forståelse gør den strukturelle viden operationel og muliggør koordinerede handlinger på tværs af forsyningskædens aktører (Mentzer et al., 2001).

For at denne strukturelle indsigt kan omsættes til handling, kræves åben informationsdeling. Ifølge (Riad, et al., 2024) reducerer transparent deling af data som lagerstatus og forecasts usikkerheden i forsyningskæden og øger den samlede performance. Nyere studier peger ligeledes på, at realtidsovervågning af forsyningskædens aktiviteter (*visibility*) samt evnen til løbende at lære af tidligere disruptions (*adaptability*) er afgørende for at styrke forsyningskædens resiliens (Riad, et al., 2024). Denne pointe underbygges af (Li, et al., 2025), som viser, at opsamlet organisatorisk viden muliggør hurtigere identifikation og håndtering af risici. Endelig fremhæver (Lohmer, et al., 2020), at

fleksibilitet, transparens og samarbejde er forudsætninger for at håndtere risici proaktivt.

Reduceret usikkerhed er et centralt mål i risk management, fordi mindre forskel mellem planer og faktisk udvikling gør forsyningskæden mere robust og mindre reaktiv. Usikkerheden falder især, når tre kapabiliteter arbejder sammen: synlighed, informationsdeling og koordineret planlægning. (Chopra & Sodhi, 2004) viser, at forecast-risiko, altså mismatch mellem prognose og reelt salg, kan dæmpes markant, når efterspørgselsdata gøres synlige for alle led gennem programmer som CRP og CPFR; effekten er, at bullwhip-reaktioner "blødgøres", fordi hver aktør ser det samme grundlag. (Petratos & Faccia, 2023) fremhæver tilsvarende, at synlighed og åben informationsdeling er "effektive strategier på tværs af alle disruption-typer", netop fordi de reducerer den usikkerhed, der trigger defensive over- eller underbestillinger. I en feltudtalelse fra (Pandey, et al., 2021) lyder det kort: "*If it's visible, rest all is done*" et billede på, at rettidig information gør de fleste andre kontrolmekanismer overflødige.
Synlighed og data er dog kun halvdelen af ligningen; den anden er kultur. Christopher og Peck (2004) taler om at opbygge en "risk-management culture", hvor potentielle trusler løbende opsnappes og diskuteres. (Manzoor, et al., 2024) kobler dette til resiliens i praksis: en forsyningskæde bliver først virkelig modstandsdygtig, når risikotænkning forankres som et bestyrelses-anliggende, og tværfunktionelle kontinuitetsteams omsætter information til fælles handling. Sammensat betyder det, at reduceret usikkerhed ikke blot kommer af bedre data, men af en bevidst kultur, hvor alle parter er villige til at dele, tolke og handle på de data i fællesskab.

Samarbejde: Samarbejde (collaboration) indebærer, at forskellige aktører i forsyningskæden, såsom leverandører, producenter, distributører og kunder arbejder tæt sammen, deler information og koordinerer beslutninger for fælles bedste. Effektivt samarbejde kan manifestere sig gennem *information sharing*, fælles planlægningsprocesser, og gensidig hjælp under kriser. Ifølge Christopher og Peck (2004) omfatter et robust samarbejde bl.a. at aktørerne *"arbejder effektivt sammen for gensidig fordel, fx gennem deling af information og ressourcer"* (Christopher & Peck, 2004). Samarbejde øger forsyningskædens resilience på flere måder. For det første forbedrer det synlighed, idet partnerne informerer hinanden åbent om efterspørgselsændringer, lagerstatus, forsinkelser m.v. For det andet muliggør det koordinerede response fx. kan downstream-led give upstream-led et *heads-up* om ændringer, så de kan tilpasse produktionen i tide, eller partnere kan støtte hinanden ved at omfordele lager eller kapacitet i en krisesituation. Studier har vist en klar sammenhæng mellem høj grad af samarbejde og hurtigere genopretning efter disruption (Scholten & Schilder, 2015). Omvendt kan mangel på samarbejde forværre kriser (f.eks. hvis hver aktør optimerer egoistisk, hvilket kan føre til overreaktioner såsom hamstring eller skyld-overflytning). *Trust* og *fælles målsætninger* er fundamentet for effektivt samarbejde, uden tillid vil parterne tøve med at dele kritisk information, hvilket svækker hele kædens robusthed.
Integration: Integrationskapabiliteten dækker over, hvor velintegrerede processer og systemer er inden for virksomheden (*intern integration*) og på tværs af virksomhedens grænser i forsyningskæden (*ekstern integration* med leverandører og kunder). Høj integration betyder

eksempelvis, at it-systemer hænger sammen og data flyder gnidningsløst mellem afdelinger og partnere, at forretningsprocesser er standardiserede/koordinerede, og at der er strategisk alignment mellem alle led. Integration anses for en muliggørende kapabilitet, idet den skaber grundlaget for de øvrige egenskaber som agilitet, fleksibilitet, synlighed og samarbejde.

Faktisk påpeger nyere studier, at integration er så vigtig, at andre kapabiliteter direkte afhænger heraf. For eksempel kan man kun opnå ægte synlighed, hvis informationssystemerne er integrerede mellem partnerne; man kan kun reagere agilt, hvis interne funktioner (indkøb, produktion, logistik) er tæt forbundne og kan arbejde som en enhed; og effektivt samarbejde forudsætter ofte teknologisk og processuel integration (f.eks. EDI, fælles ERP-systemer eller tværorganisatoriske teams). Integration reducerer også risikoen for *"silo-mentalitet"* og misforståelser på tværs af kæden, hvilket igen øger robustheden. Samlet set udgør disse syv kapabiliteter et slags *benchmark* for en resilient forsyningskæde. De er indbyrdes forbundne og ofte gensidigt forstærkende, fx vil et øget samarbejde og integration typisk forbedre synlighed og reducere usikkerhed, hvilket igen gør det nemmere at være agil og fleksibel. Figuren nedenfor illustrerer, hvordan kapabiliteterne tilsammen understøtter SCRES-konceptet (Figur kunne indsættes, hvis relevant).

2.4.3 SCRES-faser: Readiness, Response og Recovery

Ponomarov & Holcombs definition, samt mange senere studier, antyder, at forsyningskæderesiliens udspiller sig over en tidslinje med forskellige faser. I litteraturen opdeles resilience-aktiviteter typisk i tre hovedfaser: readiness, altså forberedelse/beredskab før en forstyrrelse, response der er reaktion under og umiddelbart efter hændelsen, og recovery omhandlende en genopretning til normaltilstand (Ponomorov & Holcomb, 2009)**.** Hver fase har sine kendetegn og tilhørende strategier, som beskrives nedenfor:

Readinessfasen omfatter alle de proaktive tiltag, der tages før en disruption indtræffer, med det formål at øge forsyningskædens robusthed og nedsætte dens sårbarhed. Readiness dækker blandt andet over risikoidentifikation og risikovurdering, altså kortlægning af potentielle risici i kæden. Dernæst forebyggende strategier, såsom multiple sourcing, sikkerhedslagre, backup-transportører, og udarbejdelse af beredskabsplaner. Til sidst dækker readinessfasen over kapabilitetsopbygning som at investere i agilitet, fleksibilitet, og samarbejde. Målet i readiness-fasen er at *forberede* forsyningskæden bedst muligt, så den kan modstå eller undgå visse forstyrrelser helt, og i hvert fald reagere hurtigere, når noget indtræffer. Med andre ord: jo bedre forberedt en forsyningskæde er igennem planer, træning, redundans, og tidlig varsling, desto mindre vil en disruption påvirke dens ydeevne.

Response-fasen dækker den periode lige omkring og efter, at en disruption indtræffer, hvor forsyningskæden forsøger at absorbere chokket og minimere skaden. I denne fase handler det om hurtig eksekvering af beredskabsplaner og om adaptiv omstilling baseret på situationens karakter. En effektiv respons kan foreksempel bestå i straks at omdirigere ordrer til en alternativ leverandør, allokere lager fra et berørt område til et andet, intensivere kommunikationen gennem kæden, eller midlertidigt at skalere kapacitet op, igennem overarbejde eller ekstra transport. Agilitet er særlig

kritisk i response-fasen, hurtige beslutninger og handlinger kan begrænse nedetid og tab. Samtidig er samarbejde og synlighed også afgørende her: alle parter skal dele opdateringer om status, og der skal være klar koordination for at undgå kaos og suboptimering. Ifølge teorien om resilience bør respons-fasen have som mål ikke blot at modstå øjeblikkelig impact, men også at stabilisere situationen så hurtigt som muligt (Ponomorov & Holcomb, 2009). I praksis tester response-fasen virkelig forsyningskædens forberedelsesniveau: de planer og kapabiliteter, man har opbygget i fredstid, kommer nu i anvendelse under pres. En vellykket respons kendetegnes ved hurtig genoptagelse af kernefunktioner, om end måske i begrænset omfang, og ved at forsyningskæden forhindrer videre spredning af effekter, eksempelvis at en leveranceforsinkelse ikke udvikler sig til et fuld produktionsstop, fordi man finder midlertidige løsninger.

Recovery-fasen indtræffer, efter at den akutte krise er under kontrol, og fokus skifter til at genoprette normale driftsforhold og eventuelt indhente det tabte. Genopretning indebærer at reparere skader fysiske såvel som planmæssige, genopfylde lagre, genbalancere produktionsplaner og generelt bringe forsyningskæden tilbage til et stabilt outputniveau. Et ofte citeret træk ved resilience er, at målet ikke kun er at vende tilbage til normaltilstand, men potentielt til et *bedre* niveau end før, det vil sige at lære af hændelsen og forbedre systemet (*bounce back* better). Ponomarov & Holcombs definition indeholder elementer af "recovery to the desired level of connectedness and control", hvilket indebærer at genoprette det ønskede operationsniveau og kontrol (Ponomorov & Holcomb, 2009). I recovery-fasen er koordination stadig vigtigt, men tidsdimensionen er ofte længere end i response-fasen: det kan tage dage, uger eller måneder at komme helt på fode igen efter en stor forstyrrelse. Planer for forretningskontinuitet og disaster recovery bliver aktuelle her, det kan være at skaffe erstatning for ødelagte råvarer, genopbygge infrastruktur, eller vinde tabte kunder tilbage gennem service-tiltag. Et andet aspekt af recovery er efterkritikken, altså det at evaluere håndteringen af hændelsen og identificere læringspunkter. Dette baner vejen for at organisationen kan forbedre sin readiness fremover, hvilket tydeliggøre resilience er en kontinuerlig cyklus snarere end en engangsbegivenhed. En effektiv recovery-fase kendetegnes ved, at forsyningskæden relativt hurtigt genfinder sin ydeevne med minimale permanente tab og samtidig udleder erfaringer, der kan styrke robustheden mod fremtidige hændelser.

Samlet set fremhæver forskning altså, at SCRES udspiller sig i før-under-efter faserne (og nogle tilføjer endda en fjerde fase *"growth/adaptation"*, hvor virksomheden opnår konkurrencefordele gennem at lære af krisenn (Wu, et al., 2025). For praktikere er det vigtigt at adressere alle faser: Readiness sikrer et solidt beredskab, response minimerer umiddelbar skade, og recovery forkorter varigheden af forstyrrelsens effekt. Mangler der fokus på en af disse faser, vil forsyningskædens samlede resilience være kompromitteret.

2.4.4 SCRES begrænsninger

Ponomarov & Holcombs (2009) bidrag har dannet et teoretisk fundament for SCRES-forskningen, men deres rammeværk og definition er ikke uden begrænsninger. For det første er rammeværket konceptuelt og relativt overordnet, hvilket gør den praktiske operationalisering vanskelig. Flere forskere har påpeget, at der mangler en klart defineret og målbar model for SCRES i praksis

(Ponomorov & Holcomb, 2009; Lohmer, et al., 2020; Raetze, et al., 2021) Med andre ord: begrebet er bredt og multidimensionelt, men det kan være udfordrende for virksomheder at vurdere *hvor* resiliente deres forsyningskæder er, og *hvordan* de konkret skal styrke resilience. Ponomarov & Holcomb (2009) opstiller godt nok en række logistiske kapabiliteter og teoretiske sammenhænge, men de giver ikke et operationelt værktøj eller metrikker til at måle hver kapabilitet. Dette gør, at rammeværket kan være vanskeligt at implementere direkte. For eksempel: Hvordan kvantificerer man "agilitet" eller "synlighed" i ens forsyningskæde? Hvor meget "resiliens" er nok? I forlængelse heraf kritiserer nogle, at SCRES-litteraturen generelt inkl. Ponomarov & Holcomb ofte forbliver på et abstrakt plan uden at guide til praktisk prioritering af investeringer eller initiativer (Riad, et al., 2024; Manzoor, et al., 2024). Der er altså en kløft mellem koncept og konkret anvendelse, som endnu ikke er fuldt ud adresseret i 2009-rammeværket.

En anden vigtig begrænsning er rammeværkets manglende eksplicitte integration af digitale teknologier og data-drevne værktøjer. Ponomarov & Holcombs arbejde blev udført i en periode, hvor fokus primært var på proces- og menneskerelaterede kapabiliteter. Siden da har det seneste årtis teknologiske udvikling (Industri 4.0, IoT, big data, AI, blockchain m.m.) åbnet nye muligheder for at forbedre forsyningskæders resilience. Disse teknologier kan eksempelvis skabe radikalt bedre synlighed (gennem sensorer og realtime data), øge agilitet (gennem avanceret analyse, automatisering og beslutningsstøtte) og forbedre samarbejde/integration (gennem digitale platforme og datadeling) (Guo, et al., 2025; Manzoor, et al., 2024). Digitaliseringens rolle i SCRES blev stort set ikke berørt i 2009-rammeværket, men er i dag et nøgleelement. Nyere studier dokumenterer fx, at digital teknologi markant kan forbedre en forsyningskædes agility og evne til risikohåndtering og at udvikling af *digitale kapabiliteter* dermed er blevet en vigtig faktor for resilience. Fraværet af dette perspektiv i det oprindelige rammeværk betyder, at det kan virke en smule forældet under nutidens forhold. Virksomheder søger nu i stigende grad *"digitally-enabled resilience"*, hvor foreksempel prediktive analyser forudsiger forstyrrelser, IoT-enheder giver end-to-end synlighed, og samarbejde faciliteres af cloud-baserede netværk (Wu, et al., 2025). Ponomarov & Holcomb gav ikke anvisninger om sådanne værktøjer, hvilket naturligvis skyldes tidspunktet for deres forskning men det er en begrænsning, når rammeværket anvendes i dag.

Endelig kan det nævnes, at (Ponomorov & Holcomb, 2009) ikke empirisk validerede deres konceptuelle model fuldt ud. De foreslog en sammenhæng mellem logistiske kapabiliteter og SCRES, men lod empirisk test af modellen være et emne for fremtidig forskning (Ponomorov & Holcomb, 2009).

Ponomarov & Holcombs teori om SCRES udgør et stærkt fundament og et nyttigt sprog til at diskutere forsyningskæders robusthed. Men rammeværket skal udbygges og tilpasses for at blive fuldt anvendeligt i praksis. Særligt kræves der mere konkretisering af, hvordan man måler og implementerer resilience-kapabiliteter i den virkelige verden, samt en opdatering, der indtænker digitale teknologier som en integreret del af løsningen.

Mens åben datadeling og forbedrede forecasts er vigtige første skridt til at nedbringe usikkerhed, er de i sig selv ikke nok til at skabe en modstandsdygtig kæde. Information skal omsættes til fælles

beslutninger, før effekten forplanter sig i praksis. Derfor rettes blikket nu mod **samarbejde** som det kapabilitetstræk, der binder synlighed, koordinering og hurtig respons sammen på tværs af alle partnere i netværket.

2.5 Action-Oriented Digital Technologies

De foregående teoriafsnit har vist, hvorfor forsyningskæder bliver sårbare (risikokategorier og bullwhip-drivere) og hvordan robusthed kan opbygges konceptuelt (SCRES-kapabiliteter). Afsnit 2.5 tager næste skridt og introducerer tre digitale teknologier, kunstig intelligens, blockchain og cloud computing der kan omsætte disse principper til handling i realtid. Fokus er på deres fælles kendetegn som *action-oriented*: de samler, analyserer og deler data hurtigt nok til at støtte før-, under- og efter-disruption-beslutninger. Kapitlet skitserer teknologiernes hovedfunktioner og forbereder dermed den efterfølgende analyse (kapitel 4), hvor deres konkrete bidrag til risikodæmpning og resiliens vurderes.

2.5.1 Definition af Action-Oriented Digital Technologies

Begrebet Action-Oriented Digital Technologies (AODT) dækker over digitale teknologier, der er målrettet mod at muliggøre og understøtte handlinger baseret på data. Hvor nogle teknologier primært fokuserer på at indsamle eller generere data, er AODT karakteriseret ved at udnytte indsamlede data gennem deling, analyse og fortolkning for derigennem at informere beslutninger og igangsætte strategiske tiltag (Wu, et al., 2025). Formålet med AODT er at omsætte store mængder information (*big data*) til konkrete handlinger i dynamiske miljøer (Wu, et al., 2025). Typisk regnes teknologier som kunstig intelligens, blockchain og cloud computing blandt AODT (Wu, et al., 2025). Disse teknologier besidder hver især egenskaber, der gør dem i stand til at skabe værdi af data, eksempelvis ved at automatisere analyser eller sikre hurtig adgang til information og fungerer dermed som en konceptuel ramme for den handlingsorienterede udnyttelse af digital teknologi.

2.5.2 AI Konceptuelle funktioner

Kunstig intelligens (AI) kan overordnet defineres som maskiners evne til at efterligne intelligent menneskelig adfærd og udføre komplekse opgaver på måder, der minder om menneskelig problemløsning (Wu, et al., 2025). Målet med AI er at udvikle systemer, der udviser "intelligente" handlinger, som foreksempel at genkende mønstre, forstå sprog eller træffe beslutninger autonomt. En central underdisciplin under AI er maskinlæring, hvor algoritmer gør computere i stand til at lære fra data frem for at være eksplicit programmeret (Li, et al., 2025; Schroeder & Lodemann, 2021). Især deep learning der er en avanceret form for maskinlæring baseret på kunstige neutrale netværk med mange lag, har markeret sig ved at kunne modellere komplekse mønstre i store datasæt og simulere menneskelig beslutningstagning (Li, et al., 2025; Schroeder & Lodemann, 2021)

AI-teknologier anvendes ofte til avanceret dataanalyse. Forudsigende (prædiktiv) dataanalyse bruges til at forudsige fremtidige mønstre baseret på historiske data, mens præskriptiv analyse går videre ved at anbefale konkrete handlinger baseret på disse forudsigelser (Ivanov, et al., 2019; Schroeder & Lodemann, 2021) (Ivanov, et al., 2019; Li, et al., 2025; Schroeder & Lodemann, 2021; Ivanov, et al., 2019). AI-systemer kan også være selvlærende, idet nogle algoritmer løbende forbedrer sig selv baseret på nye data uden menneskelig indgriben. Dermed muliggør AI i stigende grad automatiseret beslutningstagning, hvor algoritmer autonomt træffer beslutninger baseret på indsamlet viden og foruddefinerede mål.

2.5.3 Blockchain Konceptuelle funktioner

Blockchain er en distribueret databasteknologi, ofte beskrevet som en form for delt digitalt regnskab, der registrerer data eller transaktioner i en kæde af blokke, som er kryptografisk forbundne. Denne arkitektur indebærer, at ingen central enhed kontrollerer systemet, i stedet deles og vedligeholdes registret af et netværk af computere i fællesskab (Min, 2019). Nøglen til blockchain er dens centrale principper, decentralisering, uforanderlighed og konsensus. Decentralisering betyder, at der ikke findes en central autoritet, alle computere har en identisk kopi af blockchain-databasen, og netværket som helhed godkender ændringer (Lohmer, et al., 2020; Min, 2019). Uforanderlighed refererer til, at når en blok først er tilføjet til kæden, kan dens indhold praktisk talt ikke ændres eller slettes uden at bryde kædens integritet. Hver blok indeholder altså en unik kode, kaldet en hash, af den foregående blok, hvilket gør forsøg på manipulation gennemsigtigt og yderst vanskeligt. Konsensus-mekanismer sikrer enighed blandt netværkets computere om, hvilke nye blokke der kan tilføjes. Eksempler er Proof of Work eller Proof of Stake, der lader computere verificere transaktioner og nå frem til et fælles validitetstjek af kæden. Gennem konsensus opnår blockchain-netværket robusthed mod svig, idet kun gyldige og aftalte transaktioner tilføjes, hvilket gør data på blockchain manipulationsresistente (Min, 2019; Lohmer, et al., 2020).

En særskilt innovation inden for blockchain er introduktionen af smart contracts. En smart contract er et selvkørende program, eller "kontrakt", lagret på blockchain, som automatisk eksekverer bestemte handlinger, når foruddefinerede betingelser er opfyldt (Lohmer, et al., 2020; Min, 2019). Smart contracts udnytter blockchainens decentraliserede infrastruktur til at håndhæve aftaler uden behov for mellemled. Kode indlejret i blockchainen sørger for, at aftalens betingelser automatisk verificeres og gennemføres, så snart vilkårene indtræffer (Lohmer, et al., 2020; Min, 2019). Dette kan være betaling af en leverandør, der udløses, når et modtaget produkt er registreret, alt sammen uden manuel involvering. Smart contracts øger dermed automatisering og tillid i digitale transaktioner, idet alle parter kan se kontraktens kode og være sikre på, at den udføres præcist efter forskriften.

2.5.4 Cloud computing Konceptuelle funktioner

Cloud computing, eller blot "skyen", betegner levering af it-ressourcer og services over et netværk på en fleksibel, on-demand facon. Wu, et al. (2025) definerer cloud computing som "Cloud computing er en samling af ressourcer, der stilles til rådighed i et virtualiseret miljø og kan tilgås af autoriserede parter efter behov via webbaserede teknologier (Wu, et al., 2025). Med andre ord muliggør cloud computing, at brugere kan tilgå datalagring, serverkraft, applikationer m.v. via internettet, præcis når de har behov for det, uden selv at eje eller drive den underliggende infrastruktur. En kernekomponent er virtualisering, som muliggør, at fysiske ressourcer opdeles i flere virtuelle instanser, hvilket øger effektiviteten og fleksibiliteten i ressourceudnyttelsen. Cloud-modellen er kendt for sin fleksibilitet og skalerbarhed, da ressourcer hurtigt kan op- og nedskaleres efter efterspørgsel. Endvidere er adgang til cloud-tjenester typisk netværksbaseret, hvilket betyder, at de er tilgængelige over internettet uanset brugerens placering, så længe der er forbindelse. Dette giver en hidtil uset grad af agilitet og omkostningseffektivitet i it-drift (Wu, et al., 2025; Lee, et al., 2020).

Cloud computing tilbydes i forskellige service-modeller, primært kendt som IaaS, PaaS og SaaS. *Infrastructure as a Service* (IaaS) indebærer, at basal it-infrastruktur, såsom virtuelle servere, storage og netværksressourcer, der leveres som en tjeneste, som kunden kan konfigurere og benytte efter behov (Wulf & Lindner, 2021). Dette svarer til at leje datacenterkapacitet on-demand, hvor cloud-udbyderen håndterer den fysiske hardware, og brugeren styrer de virtuelle maskiner. *Platform as a Service* (PaaS) tilbyder en komplet udviklings- og driftsplatform i skyen, herunder middleware, databaser og værktøjer, så udviklere kan bygge, teste og hoste applikationer uden at skulle administrere underliggende servere eller operativsystemer (Wulf & Lindner, 2021). Endelig er *Software as a Service* (SaaS) færdige applikationer, der kører hos udbyderen og stilles til rådighed for brugerne via nettet, brugeren anvender blot softwaren via en webbrowser og behøver ikke tænke på installation eller vedligehold (Wulf & Lindner, 2021). Fælles for disse cloud-modeller er, at de giver høj grad af abstraktion fra fysiske ressourcer og dermed forenkler it-udnyttelsen. Cloud-miljøer tilbyder således en kombination af skalerbar, elastisk kapacitet og bekvem adgang, hvilket har revolutioneret måden hvorpå data opbevares, behandles og distribueres i moderne it-landskaber (Wulf & Lindner, 2021; Lee, et al., 2020).

2.6 Opsummering af teoriafsnittet

Dette kapitel har præsenteret en teoretisk ramme, som etablerer det fundament, analysen bygger videre på. Først blev Supply Chain Management (SCM) præsenteret ud fra (Mentzer, et al., 2001), som betoner, at en forsyningskæde ikke blot eksisterer som passiv struktur, men kræver aktiv og strategisk koordination mellem virksomheder. SCM er dermed en bevidst indsats for at integrere

aktiviteter, informationsstrømme og mål på tværs af aktører med det formål at maksimere værdiskabelsen i hele kæden. Denne tilgang forudsætter en Supply Chain Orientation (SCO), altså en helhedsorienteret forståelse af, at beslutninger i et led har konsekvenser for resten af forsyningskæden. Dermed tydeliggøres det, at digitale teknologier først kan realisere deres potentiale, når virksomhederne allerede deler en fælles strategisk forståelse.
Derefter blev centrale risici gennemgået med udgangspunkt i (Chopra & Sodhi, 2004), hvor bullwhip-effekten blev valgt som et centralt eksempel på interne efterspørgselsrelaterede risici. Bullwhip-effekten, defineret af (Lee, et al., 1997), viser, hvordan små ændringer i efterspørgslen kan forstærkes og skabe store udsving op gennem forsyningskæden. Effekten fungerer således som en indikator på manglende integration og informationsdeling, hvilket underbygger behovet for effektiv SCM.
For at håndtere disse risici introducerede kapitlet Supply Chain Resilience (SCRES), baseret på (Ponomorov & Holcomb, 2009). SCRES beskriver forsyningskædens evne til at forberede sig på, reagere på, samt hurtigt genoprette driften efter forstyrrelser. Teorien fremhæver syv centrale kapabiliteter: agilitet, synlighed, fleksibilitet, struktur og viden, reduceret usikkerhed, samarbejde og integration, som tilsammen udgør det organisatoriske og strukturelle grundlag for resiliens. Disse kapabiliteter supplerer SCM ved at sikre, at virksomheder ikke blot reagerer på risici, men også proaktivt kan forebygge og minimere dem.
Afslutningsvis blev tre digitale teknologier, AI, blockchain og cloud computing, præsenteret som potentielle værktøjer til at operationalisere SCM- og SCRES-principperne i praksis. Disse action-oriented digitale teknologier muliggør hurtig indsamling, analyse og deling af information, hvilket kan styrke forsyningskædens evne til at håndtere usikkerheder og risici mere effektivt. AI bidrager med avanceret prognose- og beslutningsstøtte, blockchain sikrer transparent og sikker informationsudveksling, mens cloud computing skaber fleksibel adgang til data og analysekapacitet. Denne teoretiske gennemgang udgør grundlaget for analysen i kapitel 4, hvor projektet undersøger, hvordan AI, blockchain og cloud computing konkret kan understøtte SCM-aktiviteterne og dæmpe bullwhip-effekten. Samtidig vil analysen belyse, hvilke SCRES-kapabiliteter teknologierne især kan fremme, samt identificere de organisatoriske forudsætninger, der kræves for, at teknologiernes potentiale kan realiseres i praksis. Dermed skabes en klar forbindelse mellem teorien og den empiriske analyse, som følger i næste kapitel.

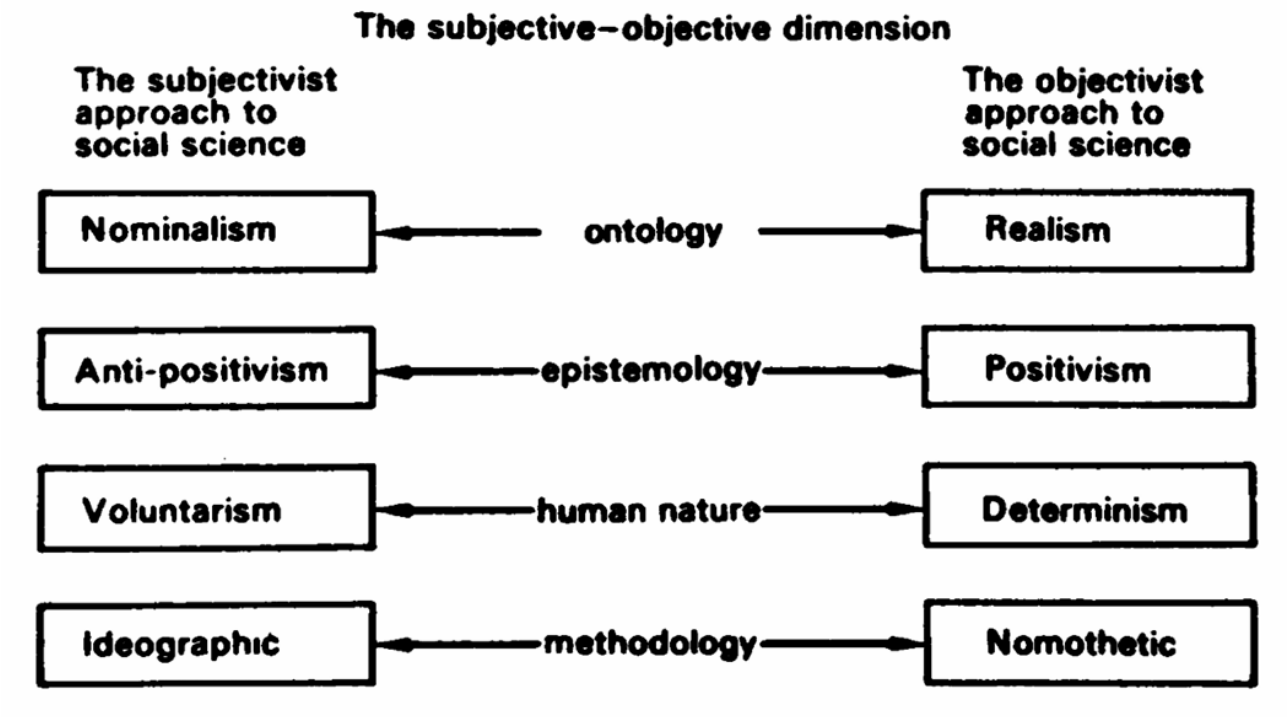
3.0 Metode

Dette kapitel redegør for projektets metodiske tilgang og begrunder de metodiske valg, der er foretaget for at besvare forskningsspørgsmålene. Indledningsvis præsenteres projektets videnskabsteoretiske ståsted med afsæt i Burrell og Morgans (1979) paradigmemodel. Herefter beskrives gennemførelsen af det systematiske litteraturreview (SLR), herunder søgeproces,

screening og kvalitetsvurdering af kilder. Kapitlet afsluttes med en kort refleksion over, hvordan denne metodiske ramme understøtter projektets analyse og resultater.

3.1 Videnskabsteoretisk ståsted

For at tydeliggøre specialets videnskabsteoretiske ståsted tages der afsæt i Burrell og Morgans (1979) rammeværk ” *Sociological Paradigms and Organizational Analysis”,* der opererer med fire grundlæggende antagelser: ontologi, epistemologi, menneskelig natur og metodologi, jf. Figur 4. Nedenfor forklares disse fire dimensioner, og projektet placeres direkte i hver af dem med en begrundelse. Afslutningsvis sammenholdes dimensionerne for at udpege specialets overordnede paradigmeplacering.



Figur 4: Burrell og Morgans paradigmemodel (subjektivobjektiv dimension)
Kilde: (Burrel & Morgan, 1979)

3.1.1 Ontologi

Ontologi vedrører spørgsmålet om, hvad ”virkeligheden er”, altså hvad forskere accepterer som det værende. I ontologien skelnes mellem to dimensioner, henholdsvis en realistisk pol (objektiv) og en nominalistisk pol (subjektiv) (Burrel & Morgan, 1979). Et realistisk/objektivistisk synspunkt antager, at der eksisterer en virkelig verden uafhængigt af vores bevidsthed. Fænomener som forsyningskæde resiliens betragtes altså som virkelige egenskaber ved forsyningskæder, der kan observeres og måles. Modsat hævder et nominalistisk/subjektivistisk synspunkt, at “virkeligheden” primært er en social konstruktion, begreberne eksisterer kun gennem menneskers fortolkninger og sprog, og vil derfor være forskellig fra individ til individ. (Burrel & Morgan, 1979).

Dette projekt baserer sig på en realistisk ontologi, da det antages at forsyningskæde resiliens og effekten af digitale teknologier herpå kan undersøges som reelt eksisterende fænomener, der ikke blot er forskerens eller aktørernes subjektive ideer. Selvom virksomheder og mennesker naturligvis kan opleve og beskrive resilience forskelligt, arbejder specialet ud fra, at fænomenet har en underliggende realitet, som kan analyseres på tværs af kontekster.

3.1.2 Epistemologi

Epistemologi omhandler, hvordan gruppen kan opnå viden om virkeligheden, og hvad der anses som gyldig og pålidelig viden. Traditionelt skelnes der mellem positivisme (objektiv) og antipositivisme (subjektiv). En positivistisk epistemologi antager, at viden primært opnås gennem objektive observationer, empiriske data og rationel analyse. Altså, at gruppen kan forklare eller forudsige virkeligheden, på baggrund af årsagsforhold elementerne i mellem (Burell & Morgan reference). Antipositivisme derimod hævder, at al viden er farvet af subjektive fortolkninger. Virkeligheden kan derfor ikke studeres neutralt, da observerede "fakta" altid vil være påvirket af den, der observerer, og den kontekst observationen sker i. Med andre ord, afviser polen, at man kan betragte fænomenet udefra, men i stedet skal gøre det indefra. (Burrel & Morgan, 1979).
Specialet her læner sig op ad en positivistisk (objektiv) erkendelsesfilosofi. Det betyder, at der tilstræbes en objektiv og systematisk videnindsamling.
Ved at gennemføre et struktureret litteraturstudie af eksisterende forskning minimeres personlig bias, og i stedet bygges der på akkumuleret evidens fra mange uafhængige studier. Det antages i praksis, at hvis man anvender en gennemsigtig metode til at indsamle og sammenligne mange forskningsresultater, kan der opnås pålidelig viden om fænomenet, som i dette tilfælde er, hvordan digitale teknologier påvirker forsyningskædens robusthed. Med andre ord eksisterer der generelle mønstre og "sandheder" i dataene, som kan afdækkes gennem analytisk arbejde. Denne tilgang afspejler positivismens ide om neutral observation; analysen baseres på dokumenterede resultater i litteraturen frem for fortolkninger af enkelte tilfælde. Yderligere er skribenterne opmærksomme på, at fuld objektivitet er vanskelig, men designet (jf. det systematiske review) er netop valgt for at komme så tæt på upåvirket, reproducerbar viden som muligt.

3.1.3 Menneskelig natur

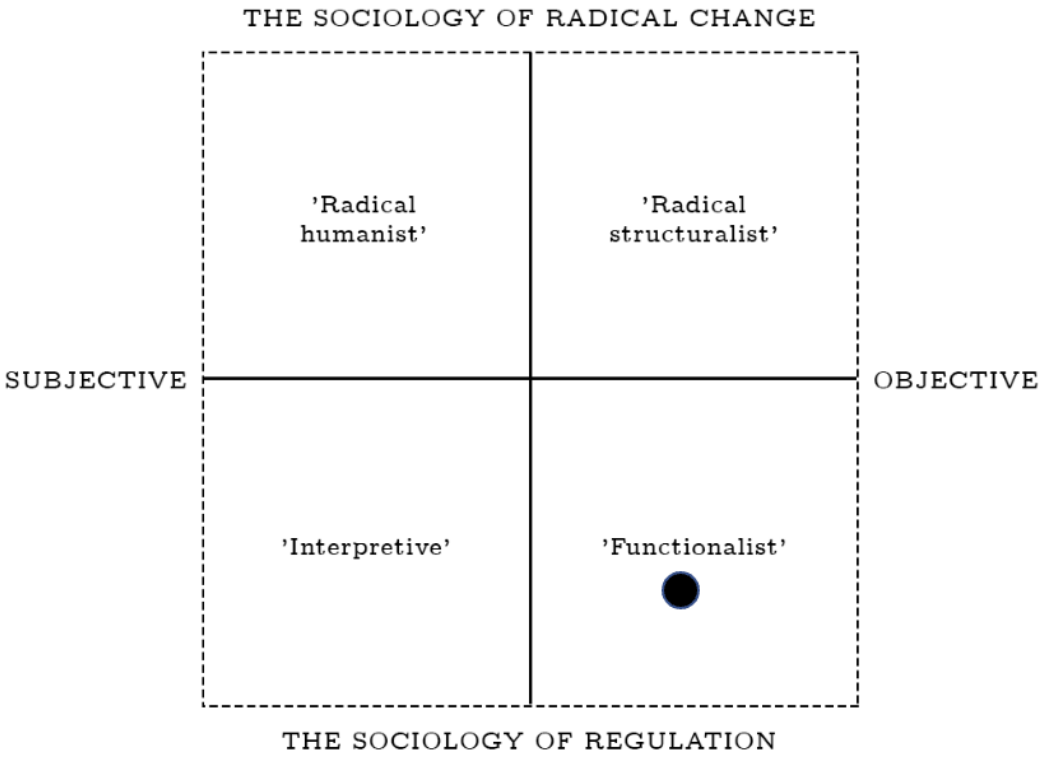
Den menneskelige natur omhandler hvordan forståelsen mellem individ og struktur erkendes. Er menneskers adfærd og beslutninger primært bestemt af ydre forhold og strukturer, eller om individer fuldstændig er fri for handlekraft. Polerne i denne dimension er henholdsvis determinisme (objektiv) og voluntarisme (subjektiv). Determinisme defineres som, at mennesket ses som styret af naturgivne love, biologisk arv eller sociale strukturer, og ingen indflydelse har på omgivelserne. Hvorimod voluntarisme vice versa defineres ved, at individet har indflydelse og påvirkning på omgivelserne (Burrel & Morgan, 1979). I en ekstrem deterministisk position antages menneskers handlinger at kunne forklares fuldt ud ved at kende tilstrækkeligt til deres incitamenter, omgivelser og generelle lovmæssigheder for adfærd. I en fuldt voluntaristisk position vil man derimod hævde,

at mennesker altid kan handle uforudsigeligt og vælge på tværs af enhver strukturel logik deres handlinger er unikke og ikke lovbundne (Burrel & Morgan, 1979).
Projektets menneskesyn er overvejende *deterministisk*, om end med et skøn af rationalitet hos aktørerne. Skribenterne antager grundlæggende, at aktører i en forsyningskæde reagerer forholdsvis forudsigeligt på visse stimuli: Fx at virksomheder underleverer, hvis de mangler information, eller at de forbedrer deres ydeevne, hvis de får bedre digitale værktøjer til koordination. Mennesker ses altså ikke som helt vilkårlige i deres adfærd; de påvirkes af strukturer, teknologi, incitamenter og relationer omkring dem. Dette afspejler det funktionalistiske paradigmes menneskebillede, hvor man antager rationel handling at individer som udgangspunkt træffer fornuftige valg inden for de rammer, de er givet (Burrel & Morgan, 1979). Projektet handler netop om at ændre rammerne (via digitale teknologier og SCM-principper) for derigennem at påvirke aktørernes adfærd i retning af højere robusthed. Havde skribenterne derimod ment, at menneskers handlinger var fuldstændig uforudsigelige, ville det være mindre meningsfuldt at forsøge at generalisere om "hvad der gør forsyningskæder robuste", da det snarere ville være på unikke fortællinger og oplevelser. Der anerkendes, at der altid er plads til individuelle forskelle og tilfældigheder, men overordnet behandles aktørernes adfærd her som *forståelig og påvirkelig* gennem generelle principper. Det er i tråd med projektets formål om at udlede bredere anbefalinger for praksis.

3.1.4 Metodologi

Metodologi-dimensionen dækker over, hvilke metoder man anvender for at opnå ny viden, givet sine antagelser om ontologi, epistemologi og menneskesyn. Burrell & Morgan skelner her mellem den *nomotetiske pol* og den *ideografiske* pol (Burrel & Morgan, 1979). En nomotetisk tilgang søger efter generelle mønstre og sammenhænge, eksempelvis igennem kvantitative metoder, statistiske analyser, eksperimenter eller systematiske sammenligninger af mange cases. Målet er at kunne påpege noget generalisende: finde mønstre, der gælder på tværs af situationer. En ideografisk tilgang derimod fokuserer på det unikke og kontekstafhængige, og er mere ustruktureret. Ved den ideografiske tilgang bruges ofte kvalitative metoder som casestudier, eller interviews for at forstå *det* enkelte tilfælde i dybden, frem for at generalisere til en population. (Burrel & Morgan, 1979).
Specialets metodiske design bærer præg af den nomotetiske pol. Specialet benytter et systematisk litteraturreview, hvor der undersøges en bred vifte af eksisterende studier for derigennem at udlede generelle indsigter.
Fremgangsmåden er struktureret og søger mønstre på tværs af forskellige kontekster frem for at analysere en enkeltstående case i dybden. Med afsæt i antagelsen om, at der eksisterer en objektiv virkelighed og underliggende generelle sammenhænge, fokuserer metoden på at identificere bredere mønstre i et større datagrundlag. Denne tilgang lægger således vægt på analytisk bredde frem for kontekstuel dybde.
Konkret indebærer det en systematisk gennemgang og sammenligning af forskningsresultater fra mange studier, hvor målet er at afdække tendenser og mønstre på tværs af feltet. En ideografisk tilgang, såsom kvalitative casestudier, ville passe bedre, hvis vores mål var at forstå en enkelt

virksomheds unikke oplevelse med resilience og teknologi. Men da specialet søger et mere generelt vidensbidrag, er en nomotetisk tilgang vurderet mere hensigtsmæssig.



Figur 5: Burrell og Morgans paradigmekvadrant
Kilde: (Burrel & Morgan, 1979)

3.1.5 Paradigmeplacering

Sammenfattende placerer de ovenstående valg af ontologi, epistemologi, den menneskelige natur samt metologi, projektet i *det* funktionalistiske paradigme i Burrell & Morgans matrixe. Det funktionalistiske paradigme er kendetegnet ved netop en realistisk ontologi og positivistisk erkendelsesteori, en tendens til at se menneskers adfærd som rationel og påvirkelig, samt en præference for nomotetiske, videnskabelige metoder (Burrel & Morgan, 1979). Formålet med forskning i dette paradigme er typisk at levere rationelle forklaringer på fænomener og praktiske løsninger, der kan forbedre eksisterende systemers effektivitet eller stabilitet (Burrel & Morgan, 1979). Vores projekt søger at gøre netop dette, at forklare hvordan digitale værktøjer kan styrke forsyningskædens modstandsdygtighed inden *for* det nuværende forsyningsnetværkssystem, og på den baggrund foreslå forbedringer, eksempelvis øget brug af bestemte teknologier eller principper, frem for at foreslå en helt ny måde at organisere forsyningskæder på.
Paradigmet antager, at forsyningskæder grundlæggende kan forbedres gennem rationel analyse og justering af strukturer, såsom bedre integration, informationsdeling og anvendelse af teknologi,

hvilket som bekendt er hovedtanken i SCM. Figur 5 illustrerer projektets placering i det funktionalistiske paradigme i Burrell & Morgans model. Skribenterne er opmærksomme på, at andre paradigmer kunne give supplerende indsigter, da resilience-begrebet også indebærer menneskelige og organisatoriske kulturfaktorer, som nogle fortolkende studier kunne belyse dybere, og et kritisk paradigme kunne stille spørgsmål ved magtforhold i forsyningskæder, herunder hvem der har ressourcer til avanceret teknologi, og om det skaber uligheder. Disse perspektiver berøres perifert i vores litteraturgennemgang, men hovedgrebet forbliver funktionalistisk. Overordnet set vurderes denne paradigmetilgang at være den mest hensigtsmæssige for specialets formål, da der ønskes generaliserbare, handlingsorienterede konklusioner frem for kontekstspecifikke fortællinger. Dog kan der argumenteres for, at projektet anvender elementer fra det fortolkende paradigme, i det skribenterne fortolker på resultaterne.

3.1.6 Kritik af Burrel & Morgan

Specialet ønsker at anlægge en kritisk tilgang til valg af videnskabsteoretisk ståsted. Derfor vil det følgende afsnit præsentere kritikken af Burrell & Morgans paradigmemodel.

Burrell & Morgans paradigmemodel møder en række kritiske perspektiver i artiklerne af (Deetz, 1996) og (Kakkuri-Knuuttila, et al., 2006). (Deetz, 1996) fremhæver især, at modellen skaber alt for skarpe og ufleksible opdelinger af forskningen, som ikke stemmer overens med, hvordan forskere rent faktisk arbejder. Paradigmerne risikerer dermed at blive en slags fastlåste bokse, der forhindrer dialog på tværs af forskellige tilgange og gør diskussionerne for sort-hvide.

På samme måde understreger (Kakkuri-Knuuttila, et al., 2006), at paradigmer i praksis ofte overlapper eller blandes. (Kakkuri-Knuuttila, et al., 2006) fremhæver eksempel, som viser, hvordan forskere typisk bevæger sig fleksibelt mellem forskellige paradigmer alt efter, hvad der bedst passer til situationen. (Burrel & Morgan, 1979) rigide opdeling kan derfor hæmme muligheden for en mere naturlig og pragmatisk anvendelse af teorier og metoder.

Begge artikler anerkender eksplicit deres egen subjektivitet og fremhæver, at deres kritik heller ikke er fri for personlige og teoretiske præferencer. Netop derfor opfordres der til en mere fleksibel og pragmatisk anvendelse af paradigmemodellen en anvendelse, der også rummer plads til selvkritik og refleksion.

Samlet set argumenterer begge bidrag for, at Burrell & Morgans paradigmemodel fortsat har værdi som en strukturerende ramme, men at den savner den nødvendige fleksibilitet til at afspejle forskningens kompleksitet og praksisnære realiteter.

3.2 Forskningsdesign logik og implementering

Projektets forskningsdesign tager udgangspunkt i en systematisk litteraturgennemgang (SLR). Denne metode er valgt, fordi den sikrer en gennemsigtig og struktureret gennemgang af eksisterende viden

inden for området. Gennem klare søgekriterier og eksplicitte udvælgelsestrin reduceres risikoen for bias, hvilket bidrager til, at resultaterne fremstår objektive og kan gentages af andre.

SLR'en bruges aktivt til at besvare alle fire forskningsspørgsmål. Først analyseres resultaterne af RQ1-RQ3 samlet, så der opnås en bred forståelse af, hvordan AI, blockchain og cloud computing i praksis understøtter forsyningskædens robusthed gennem SCM-aktiviteter og SCRES-kapabiliteter. Denne viden kobles efterfølgende til RQ4, som specifikt fokuserer på teknologiernes evne til at dæmpe bullwhip-effekten gennem Mentzers syv aktiviteter.

Samlet set følger forskningsdesignet en funktionalistisk tilgang, hvor formålet er at finde generelle mønstre og praktiske anbefalinger. SLR'en fungerer dermed som projektets metodiske grundlag, der sikrer en klar og velbegrundet analyse af problemstillingen.

3.3 Systematisk litteraturreview

Dette afsnit beskriver gennemførelsen af den systematiske litteraturgennemgang trin for trin. Strukturen følger Shaffril et al.'s (2020) syv-trins model for SLR, som er tilpasset et samfundsvidenskabeligt forskningsfelt. Hvor mange SLR-guidelines oprindeligt er udviklet til sundhedsvidenskab (f.eks. PRISMA i medicin), er fremgangsmåden her justeret til management-konteksten med blandt andet PICo-rammen, CASP-vurderinger og CABS. Nedenfor gennemgås de syv faser: (1) Protokol, (2) Problemformulering, (3) Søgestrategi, (4) Screening, (5) Kvalitetsvurdering, (6) Dataudtræk, (7) Syntese (Shaffril, et al., 2020).

3.3.1 Udvikling og validering af søgeprotokol

Først blev der udarbejdet en review-protokol, som fastlagde formålet, forskningsspørgsmålene, søgeproceduren samt kriterier for inklusion og eksklusion på forhånd. At udvikle og validere en protokol inden selve litteratursøgningen er anbefalet for at sikre stringens og reducere risikoen for ad hoc-beslutningerr (Shaffril, et al., 2020). I denne undersøgelse blev søgeprotokollen udarbejdet med udgangspunkt i anerkendte SLR-standarder, herunder PRISMA-retningslinjerne (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

Protokollen beskrev blandt andet, hvordan litteratursøgningen skulle gribes an (valg af databaser, søgetermer og syntaks), hvilke studier der måtte medtages, samt hvordan kvaliteten og relevansen af studierne skulle evalueres. I denne sammenhæng blev CASP-værktøjet (Critical Appraisal Skills Programme) anvendt til at støtte vurderingen af studiernes metodiske kvalitet og praktiske anvendelighed, så kun bidrag med tilstrækkelig videnskabelig tyngde blev inddraget i det videre arbejde.

For at sikre, at søgeprotokollen var velafbalanceret og dækkede alle væsentlige aspekter af forskningsspørgsmålene, blev den løbende drøftet og justeret gennem flere samtaler med vejleder. Her har vejlederen både påpeget styrker og svagheder og hjulpet med at præcisere metodiske valg,

hvilket har været afgørende for at skabe en sammenhængende og robust protokol. Denne proces har ikke blot styrket kvaliteten af protokollen, men også sikret en høj grad af refleksion over valg og fravalg undervejs i projektet.
Ved at følge en forhåndsdefineret og valideret plan opfylder kravet om transparens, idet andre i princippet vil kunne replikere reviewet ved at følge samme protokol. Dette styrker validiteten og troværdigheden af resultaterne og bidrager til en mere systematisk og gengivelig litteraturgennemgang.

3.3.2 Udformning af problemformulering

Afsnittet her redegør for processen bag udformningen af specialets problemformulering og forskningsspørgsmål. Problemformuleringen er blevet til på baggrund af en struktureret indledende gennemgang af eksisterende litteratur, hvor centrale udfordringer inden for supply chain management og risikostyring blev identificeret. Valget faldt på bullwhip-effekten som et illustrativt eksempel, da den tydeligt demonstrerer, hvordan mindre udsving kan eskalere til større problemer i forsyningskæden. Dette gør den særlig relevant at undersøge gennem anvendelse af action-orienterede digitale teknologier (AI, blockchain og cloud computing).
Forskningsspørgsmålene (RQ1-RQ4) blev formuleret med henblik på at sikre en logisk struktur og en klar sammenhæng til både teori- og analyseafsnittet. De første tre forskningsspørgsmål (RQ1-3) fokuserer samlet på teknologiens implementering og effekt på forsyningskædens robusthed. Det fjerde forskningsspørgsmål (RQ4) uddyber specifikt, hvordan teknologierne påvirker bullwhip-effekten gennem aktivering af Mentzers SCM-aktiviteter. Alle forskningsspørgsmål er formuleret med det formål at sikre en klar afgrænsning, så de kan besvares fyldestgørende inden for specialets rammer. Problemformulering og forskningsspørgsmål blev løbende kvalitetssikret gennem vejledning og faglig sparring, hvilket sikrede både relevans og praktisk anvendelighed af det endelige resultat.

3.3.3 Systematiske søgestrategier

Det tredje trin i den systematiske litteraturgennemgang indebærer systematisk anvendelse af søgestrategier, som ifølge Shaffril et al. (2020) kan opdeles i tre faser: identifikation, screening og kvalificering.

Identifikationsfasen fokuserer på udvikling af nøgleord til søgestrengen. Shaffril et al. (2020) understreger behovet for balance, hvor nøgleord hverken er for brede eller for snævre, da dette kan føre til irrelevante resultater eller udeladelse af vigtige studier. De grundlæggende nøgleord blev først afledt direkte fra projektets problemformulering og blev efterfølgende suppleret med synonymer, relaterede begreber samt anbefalinger fra databaser som Scopus, eksisterende litteratur og ekspertrådgivning.

Til udformning af nøgleord blev PICo-frameworket benyttet, som specifikt tilpasses en ikke-sundhedsfaglig kontekst. Frameworket strukturerer nøgleordene i tre klare elementer: Problem (P), Interesse (I) og Kontekst (Co), som fremgår af Figur 6.

Problemfeltet (P) fokuserer bredt på forsyningskæderisici og relaterede hændelser, som aktualiserer behovet for styrket resiliens. Her anvendes generelle risikobegreber såsom "disruption", "disturbance", "unexpected event", "supply risk" og den velkendte "bullwhip-effekt", der er relevante på tværs af forskellige forsyningskædekontekster. Dette gør søgestrategien både dækkende og fleksibel for identificering af relevant litteratur.

Interessefeltet (I) omfatter teknologiske og økonomistyringsmæssige interventioner, virksomheder kan implementere for at håndtere risiciene. Tekniske interventioner inkluderer specifikt teknologier beskrevet af Wu et al. (2025), såsom "artificial intelligence" (AI), "machine learning", "blockchain", "smart contracts", "cloud computing/cloud orchestration", "Industry 4.0" og "Action-oriented Digital Technologies (ADT)". Økonomistyringsmekanismer, som "risk management", "management control", "cost control" og "financial management", inkluderes ligeledes, da disse understøtter styringen af risici og økonomisk performance.

Kontekstfeltet (Co) er klart afgrænset til "supply chain" og "supply chain management". Dette tydeliggør, at både problemer og interventioner undersøges inden for et specifikt organisatorisk og operationelt miljø.

De tre elementer (P, I, Co) blev operationaliseret i en samlet søgestreng, implementeret i Scopus' avancerede søgefunktion. Strengen blev designet ved hjælp af boolske operatorer (AND/OR), trunkering (*) og frase-søgninger (" "), med feltkoder (TITLE-ABS-KEY) for at fokusere på artiklernes titel, abstract og nøgleord.

Den samlede søgestreng blev:

P-Problem		I-Interesse		Co-Kontekst
		Digitale teknologier		**Forsyningskæde-kontekst**
disruption* disturbance* unexpected event* supply risk* bullwhip* / bullwhip effect	**AND**	Industry 4.0 Action-oriented Digital Technolog* / ADT artificial intelligence / AI machine learning prescriptive analytics blockchain smart contract* cloud computing / cloud orchestration	**AND**	supply chain* supply chain management
		Økonomistyringsmekanismer		**Søgestrategiske filtre**
		risk management management control management accounting performance management cost control economic control inancial management		SUBJAREA: BUSI OR DECI DOCTYPE: ar OR re LANGUAGE: English

Figur 6: Søgestreng for SLR (Egen tilvirkning)

Søgestrategien blev iterativt testet og justeret, som omfattede optimering af søgeordskombinationer og afgrænsninger som dokumenttype (artikler/reviews), sprog (engelsk) og fagområde (business og decision sciences), i overensstemmelse med Shaffril et al.'s (2020) anbefalinger om refleksiv tilpasning.

For yderligere at styrke identifikationsfasen blev manuelle søgeteknikker som backward tracking (referencelistegennemgang) og forward tracking (identifikation af citerende artikler) også anvendt. Dette sikrede en mere komplet og nuanceret afdækning af relevant litteratur, især inden for nyere publikationer, der endnu ikke var bredt indekseret.

Samlet sikrer denne systematiske og iterative tilgang til søgestrategierne, at litteratursøgningen er grundig, velstruktureret og metodisk transparent, hvilket er essentielt for projektets kvalitet og troværdighed.

3.3.4 Screening baseret på inklusions- og eksklusionskriterier

Den sidste fase i søgestrategien omhandler selve kvalificeringen af artiklerne altså vurderingen af, om de faktisk opfylder alle krav for at indgå i den systematiske litteraturgennemgang. I modsætning til de foregående trin, der i høj grad kan automatiseres, kræver denne kvalificeringsproces manuel gennemgang for at sikre præcision (Shaffril, et al., 2020). Databaser kan eksempelvis fejlagtigt udvælge artikler, der ikke matcher projektets faglige fokus, fordi søgesystemerne typisk baserer sig på forfatterinformation snarere end på selve studiets indhold (Shaffril, et al., 2020).

Derfor blev i dette projekt manuelt gennemlæst titler, abstracts og i tvivlstilfælde hele artiklernes metodeafsnit for at kontrollere, at de udvalgte studier lever op til alle fastsatte kriterier. Denne grundige, manuelle kontrol minimerer risikoen for fejludvælgelse og sikrer, at kun relevante og kvalitativt solide artikler indgår i analysen (Shaffril, et al., 2020).

3.3.5 Kvalitetssikring

Efter den indledende udvælgelse af artikler er alle kilder underlagt en grundig kvalitetssikring for at minimere risikoen for bias og styrke projektets videnskabelige validitet. Som anbefalet af Shaffril et al. (2020) vurderes artiklerne gennem en systematisk og transparent proces, hvor både standardiserede tjeklister og anerkendte ranglister indgår. Valget af vurderingsværktøj afhænger af projektets formål og kontekst, og ingen enkelt metode kan anses som ultimativt bedst (Shaffril, et al., 2020).
I denne opgave er kvalitetssikringen af artiklerne foretaget ud fra en række syv kontrolspørgsmål inspireret af CASP (Critical Appraisal Skills Programme), som også fremhæves som et af de mest udbredte kvalitetsvurderingsværktøjer i SLR-metodikken (Shaffril, et al., 2020). De anvendte spørgsmål spænder fra vurdering af relevans for SCRES-konteksten, metodisk hensigtsmæssighed og klarhed i teknologifokus, til vurdering af dokumentation, transparens omkring bias og anvendelighed for analysen.

Kontrolspørgsmål	
Spm. 1	Er forskningsformålet relevant og tydeligt formuleret i forhold til projektets SCRES- og teknologikontekst?
Spm. 2	Er den anvendte metode velvalgt og hensigtsmæssig i forhold til undersøgelsens formål?
Spm. 3	Er sammenhængen mellem teknologi/digitalisering og effekt klart beskrevet og analyseret?
Spm. 4	Præsenteres og dokumenteres resultaterne på en gennemsigtig og forståelig måde?
Spm. 5	Er der transparens omkring bias, forskerens rolle og eventuelle begrænsninger?
Spm. 6	Kan kildens pointer og resultater anvendes direkte i analysen og diskussionen?
Spm. 7	Adresserer studiet egne begrænsninger og foreslår relevante områder for fremtidig forskning?

Figur 7 : CASP Kontrolspørgsmål.
(Egen tilvirkning)

Hver artikel er blevet vurderet uafhængigt af begge projektets forfattere på en skala fra 0 til 3, hvor 0 indikerer manglende relevans og 3 tildeles, hvor artiklen i særlig grad besvarer HQ. Kun artikler, der opnår tilstrækkelig høj samlet score og hvor der er bred enighed mellem vurderingerne, inkluderes i analysen. Ved uenighed diskuteres artiklerne, indtil der opnås konsensus, hvilket følger best practice om uafhængig dobbeltvurdering for at øge objektivitet og validitet (Shaffril, et al., 2020).

Ud over den manuelle vurdering sikres det formelle akademiske niveau ved, at alle artikler er udgivet i tidsskrifter, der optræder på den seneste version af CABS Journal Quality Guide (tidl. CASB-listen). CABS-listen bruges bredt i international forskning til at identificere og klassificere tidsskrifter ud fra peer review og forskningsmæssig impact. I analysen er primært inddraget artikler med en CABS-score på minimum 2, men der er også set på artikler fra relevante niveau 1-tidsskrifter, såfremt de opfylder kravene til relevans og faglighed. Dette sikrer, at litteraturgrundlaget både har høj kvalitet og tilstrækkelig bredde.

I tråd med anbefalinger fra Shaffril et al. (2020) inddrages også grå litteratur, såsom brancheanalyser, rapporter og working papers, hvis disse vurderes at have klar relevans og kan bidrage til at afdække nyere tendenser eller perspektiver, der endnu ikke er publiceret i traditionelle tidsskrifter. Grå litteratur vurderes dog kritisk, da der generelt kan være større variation i kvalitet og grad af fagfællebedømmelse. Kilderne inkluderes kun, hvis de opfylder minimumskrav til kildeangivelse, aktualitet og indholdsmæssig transparens, så analysen både får bredde og bevarer troværdigheden.

3.3.6 Dataudtræk

Dataudtræk er en central proces i systematiske litteraturreviews, hvor formålet er at udvælge netop de informationer fra hver artikel, der er relevante for at besvare problemformuleringen (Shaffril, et al., 2020). Ikke hele artiklen læses i detaljer; i stedet fokuseres der på at identificere væsentlige elementer såsom studiets formål, metode, hovedresultater, konklusioner og eventuelle videnshuller. Eksempelvis trækkes konklusionen ofte ud for at afdække, hvor der foreslås af yderligere forskning, mens metodedelen anvendes til at vurdere studiets robusthed.

For at øge pålideligheden i udtrækket har mere end en projektmedarbejder uafhængigt foretaget dataudtrækket. Efterfølgende er udtrækkene sammenlignet og diskuteret, så eventuelle uoverensstemmelser kunne afklares og sikre, at kun relevante og konsistente data indgår i analysen. Dette sikrer, at dataudtrækket både er systematisk og reflekterer flere perspektiver, hvilket anbefales for at minimere risikoen for fejl og bias (Shaffril, et al., 2020).

3.3.7 Datasyntese

Datasyntesen udgør næste trin i den systematiske litteraturgennemgang og har til formål at sammenfatte og integrere de relevante resultater fra de udtrukne artikler i forhold til projektets problemformulering. Da ikke alle dele af en artikel nødvendigvis er relevante for analysen, tages der udgangspunkt i netop de datafelter og fund, som er identificeret under dataudtrækket (Shaffril, et al., 2020).

Det indsamlede materiale fra litteraturen kan syntetiseres kvantitativt, kvalitativt eller som en kombination af begge tilgange. En kvantitativ syntese indebærer systematiske metoder, der identificerer styrker, svagheder og variationer på tværs af studiernes resultater, mens en kvalitativ syntese fokuserer på fortolkning, forklaring og fremhævelse af centrale pointer i de inkluderede studier (Shaffril, et al., 2020).

Dette projekt anvender ikke en kvantitativ tilgang, men fokuserer derimod på en kvalitativ datasyntese. Analysen bygger således på en fortolkende og sammenlignende tilgang, som har til hensigt at tydeliggøre artiklernes indhold og afdække deres indbyrdes relationer.

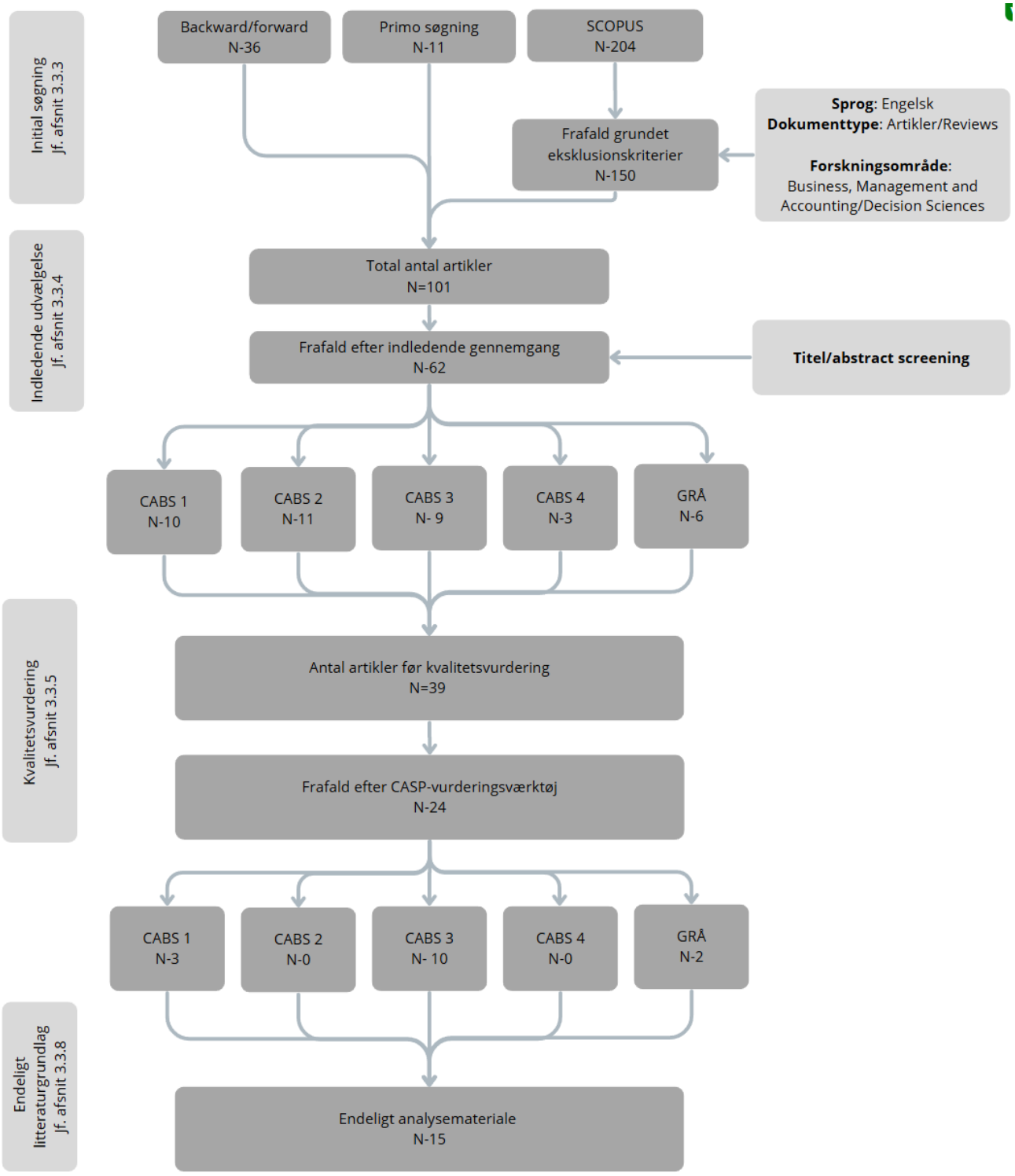
Synteseprocessen er udført som en tematisk analyse, hvor data fra artiklerne systematisk er grupperet efter centrale temaer såsom SCRES-kapabiliteter, digitale teknologier, forsyningskæderisici og risikohåndtering. Undervejs er der lagt vægt på både at identificere ligheder og forskelle på tværs af de inkluderede studier samt på at fremhæve centrale tendenser, der kan belyse projektets forskningsspørgsmål.

I forbindelse med denne proces er NVivo 15 blevet anvendt som kodningsværktøj. NVivo har understøttet den analytiske gennemgang ved at muliggøre systematisk kodning af nøgleelementer og begreber, der er blevet vurderet relevante i forhold til projektets teoretiske ramme og forskningsspørgsmål. Anvendelsen af NVivo har således bidraget til at sikre transparens, konsistens og sporbarhed i tematiseringen af data. For at styrke pålideligheden i syntesen har flere gruppemedlemmer løbende deltaget aktivt i processen, og fortolkninger er blevet diskuteret og afstemt indbyrdes for at minimere individuel bias.

Datasyntesen udgør på denne måde et solidt fundament for den samlede vurdering og diskussion af, hvordan action-orienterede digitale teknologier kan bidrage til at styrke resiliensen i moderne forsyningskæder.

3.3.8 Datademonstration

For at skabe transparens og sikre, at udvælgelsesprocessen kan efterprøves, er hele arbejdsgangen fra identifikation af litteratur til endelig inklusion dokumenteret gennem et PRISMA-flowchart (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). PRISMA-flowchartet giver et overskueligt visuelt overblik over, hvordan antallet af artikler gradvist indsnævres fra det brede udgangspunkt til det endelige analysemateriale, hvilket anbefales i metodevejledninger for systematiske litteraturreviews (Shaffril, et al., 2020).



Figur 8: PRISMA-FlowCharc
(Egen tilvirkning)

Figur 8 præsenterer udvælgelsesprocessen for artiklerne i form af et PRISMA-flowchart. Denne illustration giver en klar og overskuelig visualisering af, hvordan artiklerne blev systematisk filtreret fra den oprindelige brede søgning til det endelige analysemateriale.

Den initiale søgning resulterede i 251 artikler fordelt på Scopus som startede med 204 resultater, samt backward/forward-søgning som, endte med 36 artikler og 11 arikler blev fundet igennem Primo.

Efter anvendelse af prædefinerede kriterier (herunder sprog, dokumenttype og forskningsområde) blev antallet reduceret til 101 artikler. Herefter blev artiklerne screenet på titel og abstract, hvilket førte til yderligere eksklusion af 62 studier.

De resterende 39 artikler blev opdelt efter kvalitetskategorier efter CABS-score, samt grå litteratur og gennemgik derefter en grundig kvalitetsvurdering med CASP-værktøjet. Resultatet af kvalitetsvurderingen førte til, at yderligere 24 artikler blev frasorteret, hvilket efterlod et endeligt analysemateriale på 15 studier. Disse inkluderede artikler fordeler sig således: CABS 1 (N=3), CABS 3 (N=10) og grå litteratur (N=2).

Denne fremgangsmåde sikrer transparens, sporbarhed og reproducerbarhed i udvælgelsen, hvilket lever op til PRISMA-2020-retningslinjerne for systematiske litteraturstudier. Derudover er Tabel 2 udarbejdet som supplement til flowchartet, hvor hver artikel er præsenteret med angivelse af forskningsmetode og nøgleord. Dette giver læseren et klart og lettilgængeligt overblik over det endelige datagrundlag.

Tabel 2: oversigt over udvalgte SLR artikler (egen tilvirkning)

Nr	Titel	Årstal	Forfattere	Keywords	CABS Score	CASP Score
1	Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study	2020	Jacob Lohmer, Niels Bugert & Rainer Lasch	Blockchain, Resilience, Industry 4.0	3	20
2	Blockchain technology in a crisis: Advantages, challenges, and lessons learned for enhancing food supply chains during the COVID-19 pandemic	2024	Muhammad Waqar Akram, Nida Akram, Fakhar Shahzad, Khalil Ur Rehman & Shahla Andleeb	Blockchain, COVID-19, Resilient food supply chain, Interpretive research	1	16
3	Consumer service level-oriented resilience optimisation for e-commerce supply chain considering hybrid strategies with blockchain adoption	2024	Wei Pu, Shuang Ma & Xiangbin Yan	Long-term Disruption risks, Blockchain, Stochastic Optimisation, Hybrid Resilience strategy	3	20
4	Artificial intelligence-driven supply chain resilience in Vietnamese manufacturing small- and medium-sized enterprises	2024	Prasanta Kumar Dey, Soumyadeb Chowdhury, Amelie Abadie, Emila Vann Yaroson & Sobhan Sarkar	AI, SC Resilience, Risk Management, Agility, Organisational Factors	3	19
5	End-to-end supply chain resilience management using deep learning, survival analysis, and explainable artificial intelligence	2025	Xingyu Li, Vasiliy Krivtsov, Chaoye Pan, Aydin Nassehi, Robert X. Gao & Dmitry Ivanov	SC Resilience, Supply Chain Risk Management, Deep Learning, AI	3	21
6	Examining the Factors That Facilitate or Hinder the Use of Blockchain Technology to Enhance the Resilience of Supply Chains	2024	Rizwan Manzoor, B.S. Sahay & Sujeet Kumar Singh	Blockchain, Adoption Factors, Technology Management, Resilience	3	14
7	Fake news, misinformation, disinformation and supply chain risks and disruptions: risk management and resilience using blockchain	2023	Pythagoras Petratos & Faccia Alessio	Fake News, Misinformation, Disinformation, Resilience, Supply Chain Risk Management	3	15
8	Food supply chain disruptions and its resilience: a framework and review for resilience strategies in the digital era	2025	Pranav Sanjay Sutar, Gaurav Chandrakant Kolte & S. Yamini	Agility, Covid-19, Resilience strategies, Sustainability	1	15
9	Mitigating the risk of specific supply chain disruptions through blockchain technology	2024	Rami Alkhudary, Maciel M. Queiroz & Pierre Feniès	Blockchain, Supply chain, Risk management, Litterature review	1	18
10	Systematic review of adopting blockchain in supply chain management: bibliometric analysis and theme discussion	2024	Yanhu Han & Xiao Fang	Blockchain, Literature Review, SCM, bibliometric analysis, theme analysis	3	20
11	A Systematic Investigation of the Integration of Machine Learning into Supply Chain Risk Management	2021	Meike Schroeder & Sebastian Lodemann	Machine Learning, Supply Chain Risk Management, Cases, Supply Chain, Propositions	Ikke listet	18
12	The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics	2019	Dmitry Ivanov, Alexandre Dolgui & Boris Sokolov	Industry 4.0, Ripple Effect, Supply Chain Risk Management, Supply Chain Resilience, Blockchain, Big data analytics, Supply Chain dynamics	3	21

13	Enhancing Supply Chain Resilience Through Artificial Intelligence: Developing a Comprehensive Conceptual Framework for AI Implementation and Supply Chain Optimization	2024	Meriem Riad, Mohamed Naimi & Chafik Okar	Artificial Intelligence, Supply Chain Resilience, Conceptual framework, mixed-methods approach	Ikke listet	15
14	Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future reseach directions	2019	George Baryannis, Sahar Validi, Samir Dani & Grigoris Antoniou	AI, Supply Chain Risk Management, decision-making, Supply Chain disruption	3	21
15	The implications of Industry 4.0 for managing supply chain disruption and enhancing supply chain resilience: a systematic literature review	2025	Khalib Ismail, Ethan Nikookar, Matthew Pepper & Mark Stevenson	Supply Chain disruptions management, Industry 4.0, Literature review, Supply Chain Resilience, Supply chain risk management	3	21

3.4 Bemærkning om brug af teknologisk assistance

Formålet med dette afsnit er at sikre fuld transparens omkring anvendelsen af generative AI-værktøjer i udarbejdelsen af nærværende projekt. I projektet er der anvendt OpenAI's ChatGPT-4 (modelversion maj 2025) som et understøttende redskab til at forbedre tekstens struktur, sproglige kvalitet og generelle læsbarhed. Dette er sket gennem sproglig sparring, korrekturlæsning, optimering af grammatik samt forslag til forbedret afsnitsopbygning og mere præcise formuleringer. AI-værktøjet har ligeledes leveret input til alternative overskrifter og rækkefølgen af visse afsnit for at understøtte en klar og overskuelig fremstilling.
Det er vigtigt at understrege, at AI-værktøjet ikke har været anvendt som en erstatning for den faglige vurdering. Alle AI-genererede forslag og formuleringer er blevet kritisk gennemlæst, valideret og tilpasset manuelt før integration i den endelige tekst. Derudover har værktøjet ikke været anvendt til nogen former for automatiseret forskning såsom litteratursøgning, analyse af data, argumentationsopbygning eller referencehåndtering.
For at understøtte transparensen er konkrete eksempler på de anvendte prompts og AI-genererede udkast dokumenteret og samlet i Bilag 1. Dette bilag indeholder en samlet historik af dialoger med ChatGPT-4, således at læseren får mulighed for klart at vurdere, hvordan AI har bidraget til udformningen af projektet. Anvendelsen af AI-værktøjet er dermed sket i overensstemmelse med Aalborg Universitets retningslinjer for god akademisk praksis, hvor der stilles krav om en tydelig og dokumenteret redegørelse for anvendelsen af generative AI-redskaber.

4.0 Analyse

Analysekapitlet omsætter det systematiske litteraturreview til et samlet evidens-grundlag, der belyser, hvordan udvalgte digitale teknologier kan styrke supply-chain-resilience (SCRES) og reducere bullwhip-effekten. Strukturen følger specialets fire forskningsspørgsmål og bygger logisk bro mellem teori (kapitel 2), metode (kapitel 3) og konklusion (kapitel 5).

4.1 Arbejdsspørgsmål (RQ1-3)

Første del af kapitlet analyserer RQ1-RQ3 samlet for hver teknologi (AI, blockchain, cloud). For hvert use-case beskrives selve implementeringen (RQ1), hvilken SCRES-kapabilitet use-caset primært understøtter og i hvilken SCRES-fase, effekten materialiseres (RQ3). Den integrerede fremstilling reducerer gentagelser og gør det muligt at sammenligne teknologiernes styrker på tværs af kapabiliteter og faser. Alle påstande forankres i de højest rangerede studier fra SLR-databasen, så analysen hviler på dokumenteret evidens fremfor enkeltstående cases.

4.1.1 AI

4.1.1.1 AI Demand sensing

Virksomheder anvender AI-modeller til demand forecasting og demand sensing ved at integrere data fra forskellige kilder såsom salg (point-of-sale), makroøkonomiske indikatorer og sociale signaler fra eksempelvis sociale medier. Denne integration af strukturerede og ustrukturerede data skaber et samlet, tværorganisatorisk "demand-signal", der reducerer menneskelig bias og sikrer mere præcise prognoser (Baryannis, et al., 2019; Schroeder & Lodemann, 2021). AI-baserede analyser, især machine learning-algoritmer, forbedrer præcisionen i efterspørgselsprognoserne væsentligt, hvilket optimerer lagerstyring og produktionsplanlægning og dermed mindsker risikoen for både lagermangel og overskydende lagerbeholdning (Dey, et al., 2024; Riad, et al., 2024);

Teknologien styrker primært SCRES-kapabiliteten Agility & Responsiveness ved at muliggøre hurtig reaktion og dynamisk justering af forsyningskæden. Ved at behandle store mængder realtidsdata kan virksomhederne hurtigt identificere efterspørgselsudsving og omgående tilpasse produktion, lager og distribution, hvilket reducerer bullwhip-effekten og sikrer en effektiv ressourceudnyttelse (Dey, et al., 2024; Ismail, et al., 2025). AI-understøttede efterspørgselsprognoser skaber således en mere agil forsyningskæde, der hurtigt og fleksibelt kan reagere på eksterne ændringer og disruptions. (Sutar, et al., 2025)

AI-baseret demand forecasting og demand sensing tilfører objektivt værdi i både Readiness- og Response-faserne af SCRES. I Readiness-fasen giver præcise prognoser virksomhederne mulighed for proaktiv strategisk planlægning, øget opmærksomhed på potentielle disruptions og bedre forudsætninger for tidligt at forebygge forsyningskædeforstyrrelser (Ismail, et al., 2025; Dey, et al., 2024). I Response-fasen sikrer realtidsbaseret dataanalyse og agil justeringsevne en hurtig og effektiv reaktion på opståede disruptions, hvilket minimerer potentielle konsekvenser og ressourceforbrug (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024; Sutar, et al., 2025)

Samlet set styrker AI-baseret demand forecasting og demand sensing virksomhedernes Agility & Responsiveness, og forbedrer især forsyningskædens Readiness og Response gennem både proaktiv håndtering af efterspørgselsusikkerhed og effektiv reaktionsevne ved disruptions.

4.1.1.2 AI Capacity & inventory planning

Virksomheder anvender machine learning (ML) til optimering af kapacitets- og lagerplanlægning ved at balancere produkt-mix, produktionskapacitet og sikkerhedslagre direkte efter den faktiske efterspørgselsusikkerhed. ML-baserede analytiske værktøjer behandler store mængder realtidsdata fra heterogene kilder for at forudsige efterspørgselsvariationer, optimere ressourceanvendelse og dermed mindske spild, lageromkostninger og bullwhip-effekter (Dey, et al., 2024; Riad, et al., 2024). Desuden identificerer teknologien potentielle risici i forsyningskapaciteten, herunder leverandørforstyrrelser, gennem analyser af lagerdata, lead-times og ordredata, hvilket gør det muligt proaktivt at tilpasse kapacitetsplanlægning og reducere risici (Li, et al., 2025).

Teknologien styrker primært SCRES-kapabiliteterne Flexibility & Redundancy, Agility & Responsiveness samt Visibility. Flexibility & Redundancy forbedres gennem ML-systemers dynamiske justering af lagerbeholdninger, som sikrer evnen til hurtigt at tilpasse ressourcer og lagerkapacitet til skiftende efterspørgselsforhold, og samtidig opretholde optimale sikkerhedslagre (Riad et al., 2024). Agility & Responsiveness understøttes gennem hurtig reaktionsevne på ændrede behov, idet AI løbende forudsiger efterspørgselsvariationer og dermed muliggør dynamisk justering af produktionsplaner og distribution (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024). Visibility forbedres gennem øget transparens og indsigt i den aktuelle kapacitetssituation og mulige forstyrrelser i forsyningskæden (Riad, et al., 2024)

AI-baseret kapacitets- og lagerplanlægning tilfører objektivt værdi i både Readiness- og Response-faserne. I Readiness-fasen hjælper teknologien virksomheder med at forudsige efterspørgselsvariationer og potentielle disruptions proaktivt, hvilket sikrer bedre forberedelse og strategisk risikostyring (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024). I Response-fasen understøtter ML-analyser en hurtig og effektiv tilpasning af lager, produktionskapacitet og ressourcer til faktiske disruptions, hvilket muliggør en agil og præcis håndtering af forstyrrelser (Dey, et al., 2024; Riad, et al., 2024).

Samlet set styrker ML-baseret kapacitets- og lagerplanlægning virksomheders Flexibility & Redundancy, Agility & Responsiveness samt Visibility, og tilfører særligt værdi til både Readiness- og Response-faserne gennem proaktiv håndtering af kapacitetsusikkerhed og effektiv reaktionsevne ved disruptions.

4.1.1.3 AI Anomaly alerts

Virksomheder anvender AI-baserede streaming-analytics og machine learning-algoritmer til early warning og anomaly detection, hvor systemerne løbende overvåger data fra ordreflow, lagerstatus og leverandør-performance. Teknologien identificerer hurtigt unormale mønstre og afvigelser, såsom efterspørgselsspikes og leverandørforsinkelser, hvilket gør det muligt proaktivt at udløse præventive alarmer og forhindre tidlige bullwhip-effekter (Riad, et al., 2024; Li, et al., 2025). Derudover bruges realtidsanalyse af IoT-data og information fra transportprocesser til præcist at forudsige leveringsforsinkelser og optimere ruter dynamisk hos logistikudbydere som FedEx og DHL (Schroeder & Lodemann, 2021).

Teknologien styrker især SCRES-kapabiliteten Visibility. Real-time anomaly detection og kontinuerlig monitorering identificerer og synliggør øjeblikkeligt potentielle risici og afvigelser, såsom kvalitetsproblemer, svindel eller driftsforstyrrelser, hvilket skaber øget gennemsigtighed og hurtig reaktionsmulighed (Riad, et al., 2024; Ivanov, et al., 2019). Samtidig sikrer integrationen af avanceret analytics en løbende og tidlig indsigt i potentielle risici allerede i planlægningsfasen, så virksomheder proaktivt kan koordinere ressourcer og handlinger baseret på disse analyser (Ismail et al., 2025).

Objektivt set tilfører early warning & anomaly detection værdi især i SCRES-fasen Readiness, men også i Response-fasen. I Readiness-fasen giver prædiktive analyser og realtidsovervågning virksomheder mulighed for tidligt at opdage potentielle disruptions og derved gennemføre proaktiv

risiko- og ressourceplanlægning, som reducerer sandsynligheden for negative konsekvenser af bullwhip-effekten (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024; Li, et al., 2025)

I Response-fasen bidrager teknologien ved hurtigt at spotte afvigelser i realtid, hvilket giver virksomheden mulighed for en umiddelbar og effektiv håndtering af disruptions (Riad, et al., 2024; Ivanov, et al., 2019).
Samlet set styrker AI-baseret early warning & anomaly detection forsyningskædens Visibility og forbedrer både Readiness- og Response-faserne ved proaktivt at identificere risici og understøtte en effektiv og hurtig reaktion ved disruptions.

4.1.1.4 AI RL replanning loops

Virksomheder anvender reinforcement learning-baserede adaptive replanning loops til løbende simulering og vurdering af "hvad-hvis"-scenarier. Disse AI-agenter gennemspiller forskellige disruptions, såsom forsyningsafbrydelser eller logistiske forsinkelser, og vurderer deres mulige konsekvenser for forsyningskæden, hvilket muliggør effektiv strategisk planlægning og dynamisk omfordeling af kapacitet i realtid (Riad, et al., 2024; Ivanov, et al., 2019). Gennem denne simuleringsevne kan virksomheder løbende udvikle og tilpasse nødplaner samt træffe informeret beslutning om produktionsomlægning og lagerstyring under usikkerhed (Dey, et al., 2024).
Teknologien styrker især SCRES-kapabiliteten Agility & Responsiveness. Adaptive replanning loops gør det muligt hurtigt at reagere på ændringer og disruptions ved øjeblikkeligt at reallokere ressourcer og produktionskapacitet, hvilket øger forsyningskædens fleksibilitet og agilitet i en dynamisk og usikker kontekst (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024). Muligheden for hurtig og effektiv rescheduling understøttet af realtidssimuleringer skaber en forsyningskæde, der kan tilpasses hurtigt og præcist, og som er modstandsdygtig over for forstyrrelser.
Objektivt vurderet tilfører adaptive replanning loops værdi især i SCRES-faserne Response og Recovery. I Response-fasen gør realtidsbaseret AI-planlægning det muligt øjeblikkeligt at håndtere disruptions ved hurtigt at tilpasse aktiviteter og ressourcer, så virksomheden effektivt minimerer konsekvenserne af opståede forstyrrelser (Riad, et al., 2024; Ivanov, et al., 2019). I Recovery-fasen understøtter AI-teknologien virksomheder i hurtigt at genoprette forsyningskædens funktionalitet efter disruptions ved hjælp af adaptive, feedback-drevne kontrolmetoder og decentraliserede agentteknikker, der sikrer en effektiv genopretningsproces (Ivanov, et al., 2019; Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024).
Samlet set styrker adaptive replanning loops virksomhedernes Agility & Responsiveness og tilfører værdi særligt i Response- og Recovery-faserne ved at sikre hurtig kapacitetsreallokering og effektiv genopretning efter disruptions.

4.1.1.5 AI Predictive maintenance

Virksomheder anvender AI-baseret predictive maintenance til at overvåge produktionsudstyr via IoT-sensorer og machine learning-algoritmer. Disse værktøjer vurderer løbende udstyrets tilstand,

forudsiger potentielle maskinnedbrud og planlægger forebyggende vedligehold, inden fejl opstår. Hermed undgås ukontrollerede driftstop og behovet for store bufferlagre minimeres, hvilket sikrer stabil drift og højere effektivitet i forsyningskæden (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024; Schroeder & Lodemann, 2021).

Teknologien styrker primært SCRES-kapabiliteterne Flexibility & Redundancy samt Agility & Responsiveness. Predictive maintenance sikrer høj oppetid og stabil kapacitet, hvilket øger forsyningskædens fleksibilitet og reducerer behovet for redundante ressourcer og lagre (Dey, et al., 2024; Ismail, et al., 2025). Samtidig bidrager løbende monitorering og præventiv handling til agilitet ved at muliggøre hurtig og effektiv respons på potentielle forstyrrelser i produktionen og dermed opretholde stabil operationel performance (Riad, et al., 2024).

Predictive maintenance tilfører værdi objektivt set især i SCRES-fasen Readiness, men støtter også Response- og Recovery-faserne. I Readiness-fasen giver AI og sensor-baserede analyser virksomheden mulighed for at identificere og forhindre potentielle maskinnedbrud proaktivt, hvilket forbedrer forsyningskædens evne til at modstå fremtidige forstyrrelser (Riad, et al., 2024; Dey, et al., 2024). I Response-fasen muliggør løbende overvågning og prædiktive analyser en hurtig indsats ved begyndende problemer, hvilket reducerer skadernes omfang. Endelig understøttes Recovery-fasen indirekte ved, at AI-drevet vedligehold sikrer en mere struktureret og effektiv genopretning efter eventuelle driftstop gennem kontinuerlig vurdering og tilpasning af vedligeholdsstrategier (Ismail, et al., 2025; Riad, et al., 2024).

Samlet set styrker AI-baseret predictive maintenance forsyningskædens Flexibility & Redundancy og Agility & Responsiveness og understøtter især SCRES-fasen Readiness, men bidrager også væsentligt i Response- og Recovery-faserne gennem proaktiv overvågning, hurtig reaktionsevne og effektiv genopretning.

4.1.1.6 Mini-syntese AI

På tværs af de fem AI-anvendelser viser litteraturen tydeligt, at avanceret dataanalyse og løbende monitorering via machine learning-teknologier markant styrker virksomheders evne til at håndtere forsyningskæderisici proaktivt og effektivt. Tre SCRES-kapabiliteter træder særligt frem:

Agility & Responsiveness styrkes betydeligt gennem AI-drevet demand sensing, kapacitets- og lageroptimering samt adaptive replanning loops, der muliggør hurtig identifikation af ændringer i efterspørgsel og ressourcer samt øjeblikkelig reaktion ved forstyrrelser (Dey, et al., 2024; Riad, et al., 2024).

Visibility forbedres via AI-baseret anomaly detection og kontinuerlig monitorering, som hurtigt opdager afvigelser i forsyningskædens ordreflow, lagerstatus og leverandør-performance, hvilket sikrer rettidig handling og transparens i kædens drift (Riad, et al., 2024; Ivanov, et al., 2019).

Flexibility & Redundancy opnås særligt gennem predictive maintenance og AI-understøttet lagerplanlægning, som proaktivt identificerer risici for maskinnedbrud og dynamisk balancerer sikkerhedslagre efter faktiske behov, hvilket reducerer behovet for dyre bufferressourcer (Ismail, et al., 2025; Dey, et al., 2024).

Når disse kapabiliteter kombineres, giver AI virksomhederne mulighed for både at forebygge forstyrrelser gennem proaktiv indsigt, reagere hurtigt og effektivt på opståede hændelser samt hurtigt genoprette driften efter disruptions. Dermed skabes en mere modstandsdygtig forsyningskæde med styrket evne til præcist og rettidigt at håndtere potentielle risici. Denne AI-baserede robusthed danner udgangspunktet for næste afsnit, hvor der ses på, hvordan virksomheder konkret kan integrere teknologien organisatorisk og strategisk for at maksimere værdien af investeringerne.

4.1.2 Blockchain (DLT)

4.1.2.1 Blockchain Provenance ledger

Virksomheder anvender blockchain-teknologiens distribuerede hovedbog til at etablere ubrydelig produkt-historik og sikre præcis sporbarhed i forsyningskæden. Denne transparente registrering af produktets oprindelse, placering og status muliggør hurtigere og mere effektive recalls og reducerer samtidig risikoen for opportunistisk adfærd som overbestilling og shortage-gaming, idet lager- og ordrehistorik synliggøres tydeligt for alle parter (Alkhudary, et al., 2024; Han & Fang, 2023). Ved hjælp af realtidssporbarhed kan virksomheder proaktivt træffe beslutninger og gennemføre målrettede, præcise handlinger, hvilket forbedrer logistikken og håndteringen af potentielle disruptions (Akram, et al., 2024)

Teknologien styrker primært SCRES-kapabiliteten Visibility gennem løbende realtidsdeling og transparent registrering af data på tværs af forsyningskæden. Denne forbedrede gennemsigtighed gør det muligt hurtigt at identificere potentielle problemer og reagere effektivt på disruptions, samtidig med at tilliden mellem aktørerne i forsyningskæden øges gennem pålidelig og verificerbar information (Alkhudary, et al., 2024; Han & Fang, 2023; Akram, et al., 2024).

Blockchain-baseret provenance & traceability tilfører værdi i samtlige SCRES-faser: Readiness, Response og Recovery. I Readiness-fasen øges virksomhedens mulighed for tidligt at opdage potentielle forstyrrelser via transparent informationsdeling, hvilket understøtter præventive handlinger og planlægning (Lohmer, et al., 2020; Manzoor, et al., 2024). I Response-fasen muliggør teknologien hurtigere og mere effektiv kommunikation omkring opståede disruptions, hvilket sikrer en øjeblikkelig og koordineret respons via kontinuerligt opdaterede data (Ismail, et al., 2025; Lohmer, et al., 2020). I Recovery-fasen understøtter blockchain effektiv koordinering og tilpasning af beredskabsplaner efter disruptions gennem fælles dataadgang og transparente informationsstrømme (Ismail, et al., 2025; Lohmer, et al., 2020).

Samlet set styrker blockchain-teknologien forsyningskædens Visibility gennem transparent og verificerbar produktsporbarhed, hvilket bidrager betydeligt til virksomheders evne til at opdage, reagere og genoprette sig fra forsyningskædeforstyrrelser.

4.1.2.2 Blockchain Smart contracts

Virksomheder anvender blockchain-baserede smart contracts til automatiseret eksekvering af ordre- og betalingsbetingelser, hvilket fjerner behovet for manuel verifikation og eliminerer forsinkelser i ordrecyklussen. Dette muliggør kontinuerlige mikro-transaktioner fremfor batch-orienteret ordrebehandling, hvilket effektivt neutraliserer "order batching" som driver af bullwhip-effekten (Lohmer, et al., 2020; Petratos & Faccia, 2023) Automatiseringen sikrer samtidig hurtig, sikker og transparent udveksling af informationer, hvilket forbedrer procesnøjagtighed og reducerer transaktionsomkostninger betydeligt (Alkhudary, et al., 2024).

Teknologien styrker primært Collaboration, Responsiveness og Visibility i forsyningskæden. Collaboration forbedres gennem automatiseret informationsdeling og værdioverførsel, hvilket øger transparens, tillid og koordination mellem aktører (Han & Fang, 2023; Lohmer, et al., 2020). Responsiveness styrkes ved, at automatiserede smart contracts sikrer hurtig eksekvering af kontraktbetingelser og dermed muliggør øjeblikkelig respons ved disruptions (Manzoor, et al., 2024; Petratos & Faccia, 2023). Visibility opnås gennem realtidsdeling af information, hvilket skaber øget gennemsigtighed og kontinuerligt overblik over forsyningskædens status og aktiviteter (Han & Fang, 2023; Petratos & Faccia, 2023).

Blockchain-baserede smart contracts tilfører værdi i flere SCRES-faser, især i Readiness, Response og Recovery. I Readiness-fasen forbedrer teknologien evnen til tidligt at identificere potentielle risici og styrker beredskabet gennem hurtigere informationsdeling og proaktiv planlægning (Manzoor, et al., 2024). I Response-fasen muliggør automatiseret kontrakteksekvering en hurtig reaktion på forstyrrelser og effektiv tilpasning af aktiviteter og ressourcer (Manzoor, et al., 2024; Pu, et al., 2024). I Recovery-fasen hjælper automatiserede smart contracts med hurtig omstilling og reallokering af ressourcer, hvilket understøtter effektiv genopretning efter disruptions (Pu, et al., 2024; Manzoor, et al., 2024).

Samlet set styrker blockchain-baserede smart contracts Collaboration, Responsiveness og Visibility, og tilfører værdi i samtlige SCRES-faser ved at sikre proaktiv beredskabsplanlægning, hurtig og effektiv reaktion samt fleksibel genopretning efter disruptions.

4.1.2.3 Blockchain Compliance audit

Virksomheder anvender blockchain-teknologi til compliance og dataintegritetsauditering, idet blockchain leverer uforanderlige og verificerbare logs over alle transaktioner og handlinger i forsyningskæden. Disse logs giver et pålideligt revisionsgrundlag, som forenkler dokumentationen af ESG-rapporter, og reducerer væsentligt risikoen for datamanipulation, da informationerne ikke kan ændres efter registrering (Akram, et al., 2024; Petratos & Faccia, 2023). Dette skaber et højt niveau af gennemsigtighed og integritet, som gør det lettere at gennemføre audits, dokumentere bæredygtighedsmål og sikre compliance med lovgivningskrav (Han & Fang, 2023; Manzoor, et al., 2024).

Teknologien styrker primært SCRES-kapabiliteterne Visibility, Trust og Risk Management. Visibility øges gennem uforanderlige, transparente logs, der giver alle interessenter adgang til pålidelige og

verificerbare data, hvilket understøtter effektiv auditering og ESG-rapportering (Han & Fang, 2023; Akram, et al., 2024). Trust styrkes ved, at blockchain sikrer integriteten af data, så transaktionshistorikken er fuldt sporbar og manipulationssikker, hvilket øger tilliden mellem forsyningskædens aktører (Manzoor, et al., 2024; Petratos & Faccia, 2023). Samtidig understøtter blockchain-teknologien Risk Management gennem sikring af datakvaliteten og integriteten, hvilket reducerer risikoen for fejl og svindel (Manzoor, et al., 2024).
Blockchain-baseret compliance og dataintegritetsauditering tilfører værdi i alle SCRES-faser. I Readiness-fasen forbedrer teknologien virksomheders evne til at træffe præventive beslutninger ved at stille troværdige og verificerbare data til rådighed (Manzoor, et al., 2024). I Response-fasen muliggør de automatiserede, verificerede logs hurtig identifikation og handling, da virksomheder kan stole på dataintegriteten under akutte forstyrrelser (Manzoor, et al., 2024). I Recovery-fasen sikrer teknologien en effektiv genopretning gennem dokumenteret og transparent overblik over forsyningskædens aktiviteter og hændelser under og efter disruptions, hvilket fremmer en struktureret og pålidelig genstart (Akram, et al., 2024). Samlet set styrker blockchain-baseret compliance og dataintegritetsauditering forsyningskædens Visibility, Trust og Risk Management, og understøtter virksomheder effektivt gennem samtlige SCRES-faser ved at sikre integritet, gennemsigtighed og robust dokumentation.

4.1.2.4 Blockchain CPFR collaboration

Virksomheder anvender blockchain som en fælles, distribueret ledger, der understøtter collaborative planning og trust orchestration. Denne fælles infrastruktur muliggør CPFR-lignende samarbejde (Collaborative Planning, Forecasting & Replenishment), hvor automatisk kontrakteksekvering gennem smart contracts reducerer koordinationsomkostninger og dæmper strategisk ordreafgivelse. Blockchain-teknologien minimerer informationsasymmetri, etablerer "swift-trust" mellem aktørerne og skifter dermed tilliden fra relationel til system- og regelbaseret, hvilket gør samarbejde attraktivt og effektivt, selv mellem tidligere usammenhængende parter (Han & Fang, 2023; Manzoor, et al., 2024; Lohmer, et al., 2020)
Teknologien styrker især SCRES-kapabiliteterne Collaboration, Integration & Operational Capabilities samt Reduction of Uncertainty & Complexity. Collaboration fremmes direkte gennem forbedret synkronisering af beslutninger, fælles forecasting og integreret planlægning, baseret på automatisk informationsdeling og klare regler for transaktionsafvikling (Lohmer, et al., 2020; Manzoor, et al., 2024). Integration & Operational Capabilities styrkes gennem fælles ledger og automatiserede smart contracts, der sikrer hurtig, friktionsfri koordination og dermed forbedrer forsyningskædens operationelle effektivitet (Lohmer, et al., 2020; Manzoor, et al., 2024). Endelig reduceres usikkerhed og kompleksitet, da blockchain-teknologien fjerner risici for strategisk adfærd gennem verificerbare, transparente regler og data (Han & Fang, 2023).
Blockchain-baseret collaborative planning & trust orchestration tilfører værdi i alle tre SCRES-faser: Readiness, Response og Recovery. I Readiness-fasen understøtter teknologien fælles forberedelse og etablering af robuste responsstrukturer via et transparent, tillidsbaseret datagrundlag (Manzoor,

et al., 2024). I Response-fasen muliggør blockchain-teknologien hurtig, koordineret reaktion ved disruption gennem effektiv, realtidsbaseret informationsdeling og automatisk eksekvering af fælles beslutninger (Lohmer, et al., 2020; Manzoor, et al., 2024). I Recovery-fasen bidrager teknologien til hurtigere gendannelse efter forstyrrelser ved at understøtte fælles planlægning, koordineret handling og delte genopretningsstrategier (Manzoor, et al., 2024).
Samlet set styrker blockchain-baseret collaborative planning & trust orchestration virksomhedernes Collaboration, Integration & Operational Capabilities og Reduction of Uncertainty & Complexity, og bidrager bredt til forsyningskædens evne til effektivt at forberede, reagere og genoprette sig fra disruptions.

4.1.2.5 Mini-syntese Blockchain

På tværs af de fire analyserede blockchain-anvendelser viser litteraturen tydeligt, at implementeringen af en distribueret, transparent og uforanderlig ledger skaber betydelige forbedringer af både informationsgennemsigtighed og samarbejdsevne i forsyningskæden. Tre SCRES-kapabiliteter træder frem som særligt stærke og gennemgående på tværs af casene:
Visibility opnås især gennem blockchain-baseret provenance og compliance-logning, som sikrer præcis og manipulationssikker produkt- og transaktionshistorik, der er synlig for alle interessenter i kæden (Alkhudary, et al., 2024; Han & Fang, 2023).
Collaboration styrkes markant via blockchain-understøttede smart contracts og CPFR-samarbejde, der automatiserer informationsdeling og kontrakteksekvering, hvilket sikrer tillid, transparens og friktionsfri koordinering mellem aktørerne (Lohmer, et al., 2020; Petratos & Faccia, 2023).
Reduction of Uncertainty & Complexity opnås gennem den fælles distribuerede ledger, hvor pålidelig og verificerbar dataregistrering mindsker risikoen for opportunistisk adfærd, datamanipulation og misforståelser, og derved reducerer behovet for omfattende kontrolforanstaltninger og administrative ressourcer (Petratos & Faccia, 2023; Manzoor, et al., 2024).
Når disse tre kapabiliteter kombineres i praksis, skabes en samlet forbedring af forsyningskædens modstandsdygtighed: organisationer kan lettere opdage problemer tidligt, koordinere effektivt på tværs af aktører og minimere usikkerhed og kompleksitet, inden ineffektivitet og disruptions opstår.

4.1.3 Cloud computing

4.1.3.1 Cloud Control-tower dashboards

Virksomheder anvender cloud computing-baserede real-time visibility dashboards og control-towers til at samle og præsentere data fra IoT-enheder, ERP-systemer og eksterne informationskilder. Disse dashboards skaber en samlet, end-to-end indsigt i forsyningskædens aktiviteter og tilstand, og fungerer dermed som en "single source of truth", som forhindrer informationsforsinkelse og sikrer præcis og rettidig beslutningstagning (Ismail, et al., 2025; Ivanov, et al., 2019). Ved at have adgang

til opdaterede realtidsdata kan virksomheder hurtigt opdage potentielle disruptions og effektivt planlægge og justere processer løbende.
Teknologien styrker primært SCRES-kapabiliteterne Visibility, Agility & Responsiveness samt Integration & Operational Capabilities. Visibility forbedres via kontinuerlig overvågning og præsentation af realtidsdata, som skaber transparens i forsyningsflowet (Ismail, et al., 2025). Agility & Responsiveness understøttes af muligheden for øjeblikkelig indsigt i forstyrrelser og hurtig tilpasning af aktiviteter på basis af opdaterede oplysninger (Ivanov, et al., 2019). Integration & Operational Capabilities styrkes ved at dashboards integrerer data fra forskellige kilder og systemer, hvilket sikrer en operationel effektivitet og præcise, koordinerede beslutninger på tværs af hele forsyningsnetværket (Ismail, et al., 2025; Ivanov, et al., 2019).
Cloud-baserede real-time visibility dashboards tilfører værdi i samtlige SCRES-faser: Readiness, Response og Recovery. I Readiness-fasen hjælper teknologien virksomheder med tidlig identifikation af potentielle forstyrrelser og scenarieplanlægning baseret på præcise forudsigelser af mulige hændelser (Ivanov, et al., 2019). I Response-fasen giver dashboards mulighed for øjeblikkelig indsigt og hurtig, præcis reaktion på disruptions (Ismail, et al., 2025). I Recovery-fasen muliggør teknologien løbende overvågning og justering af genopretningsplaner gennem direkte adgang til live data, hvilket sikrer effektiv gendannelse af forsyningsflowet efter disruptions (Ivanov, et al., 2019).
Samlet set styrker cloud computing-baserede real-time visibility dashboards virksomheders Visibility, Agility & Responsiveness samt Integration & Operational Capabilities, og understøtter effektivt alle SCRES-faser gennem præcis og hurtig beslutningstagning baseret på realtidsdata.

4.1.3.2 Cloud Elastic analytics

Virksomheder anvender cloud computing-teknologiens elastic compute & scalable analytics til at opnå fleksibel, pay-as-you-go adgang til avanceret analysekapacitet uden store forudgående investeringer. Disse cloudbaserede løsninger gør avancerede analyser økonomisk tilgængelige for virksomheder uanset størrelse og ressourcegrundlag, hvilket demokratiserer adgangen til realtidsbaseret beslutningsstøtte (Ismail, et al., 2025). Teknologien understøtter desuden kontinuerlig overvågning og tilpasning af kapacitet og likviditet gennem realtidsdata, der sikrer præcis og dynamisk ressourceallokering (Ivanov, et al., 2019; Ismail, et al., 2025).
Teknologien styrker en række SCRES-kapabiliteter, især Agility & Responsiveness, Visibility, Integration & Operational Capabilities samt Structure & Knowledge. Agility & Responsiveness opnås gennem realtidsanalyser, der muliggør hurtig beslutningstagning og umiddelbar tilpasning til ændringer og disruptions (Ivanov, et al., 2019). Visibility styrkes af kontinuerlige cloudbaserede dashboards og analyser, der sikrer gennemsigtighed og konstant overblik over forsyningskædens status. Integration & Operational Capabilities understøttes af fælles cloud-analyseplatforme, der integrerer data og processer på tværs af forsyningskæden, hvilket sikrer effektiv drift (Ismail, et al., 2025). Structure & Knowledge styrkes ved at gøre avanceret analysekapacitet bredt tilgængelig uden behov for tung lokal infrastruktur.

Elastic compute & scalable analytics tilfører værdi i alle tre SCRES-faser: Readiness, Response og Recovery. I Readiness-fasen understøtter teknologien avancerede, præventive analyser og robust beredskabsplanlægning med høj regnekapacitet og præcision (Ismail, et al., 2025). I Response-fasen giver den adgang til realtidsbaserede analyser, som muliggør hurtig identificering og umiddelbar reaktion på disruptions (Ivanov, et al., 2019). I Recovery-fasen sikrer cloud-løsninger kontinuerlig overvågning og hurtig justering af aktiviteter baseret på opdaterede data, hvilket understøtter effektiv reallokering og genopretning efter disruptions (Ivanov, et al., 2019).
Samlet set styrker elastic compute & scalable analytics via cloud computing virksomhedernes Agility & Responsiveness, Visibility, Integration & Operational Capabilities og Structure & Knowledge, og sikrer effektiv datadrevet håndtering før, under og efter forsyningskædeforstyrrelser.

4.1.3.3 Cloud Edge-cloud cold-chain

Virksomheder anvender edge-cloud integration til at kombinere lokal latensfri databehandling (edge computing) med centraliseret cloud-baseret analyse og læring. Denne kombination er særlig vigtig for tidssensitive forsyningskæder, såsom cold-chains inden for fødevarer og pharma, hvor selv mindre forsinkelser kan føre til betydelige kvalitetstab. Edge computing sikrer her hurtige, lokale beslutninger, mens cloud-delen indsamler data til historisk analyse, central koordinering og løbende optimering af processer (Sutar, et al., 2025; Schroeder & Lodemann, 2021).
Edge-cloud integration styrker primært SCRES-kapabiliteterne Integration & Operational Capabilities, Agility & Responsiveness, Visibility og Structure & Knowledge. Integration & Operational Capabilities forbedres ved, at teknologien binder lokale og centrale systemer sammen, synkroniserer data på tværs af IoT-enheder, ERP-systemer og sensorer, og dermed sikrer effektiv koordination mellem forsyningskædens aktører (Schroeder & Lodemann, 2021). Agility & Responsiveness opnås gennem lokal edge-baseret dataanalyse, der muliggør hurtig beslutningstagning tæt på kilden, kombineret med cloud-baseret koordinering og styring (Sutar, et al., 2025). Visibility styrkes via realtidsmonitorering og deling af data, hvilket skaber kontinuerlig indsigt i forsyningskædens aktuelle status (Sutar, et al., 2025). Endelig understøtter teknologien Structure & Knowledge ved at kombinere decentral beslutningskraft med centraliseret viden og analysekapacitet (Schroeder & Lodemann, 2021).
Teknologien tilfører primært værdi i SCRES-faserne Readiness og Response, med indirekte støtte til Recovery. I Readiness-fasen muliggør edge-cloud integration en proaktiv tilgang gennem løbende overvågning, tidlig identificering af afvigelser og forudgående planlægning af potentielle risikoscenarier (Ivanov, et al., 2019). I Response-fasen sikrer teknologien hurtige lokale handlinger understøttet af central koordination, hvilket muliggør effektiv og øjeblikkelig reaktion på disruptions i følsomme forsyningsflows (Sutar, et al., 2025). Recovery understøttes indirekte gennem kontinuerlig systemovervågning og fleksibel tilpasning baseret på realtidsdata (Ivanov, et al., 2019).

Samlet set styrker edge-cloud integration virksomheders Integration & Operational Capabilities, Agility & Responsiveness, Visibility og Structure & Knowledge, og bidrager især til effektiv og hurtig håndtering af disruptions i tidssensitive forsyningskæder.

4.1.3.4 Cloud Open APIs & ecosystem

Virksomheder anvender cloud-baserede Open APIs og data-økosystemer til at etablere standardiserede og sømløse forbindelser mellem forskellige systemer, partnere og applikationer. Disse standardiserede API'er sikrer, at data flyder frit og uden tab på tværs af organisatoriske og teknologiske grænser, hvilket fjerner datasiloer og giver en fleksibel platform for løbende innovation og hurtig tilkobling af nye partnere (Akram, et al., 2024; Ismail, et al., 2025). Dermed skabes en robust, fælles infrastruktur, som muliggør realtidsdatadeling, fælles analysegrundlag og kontinuerlig beslutningsstøtte.

Teknologien styrker især SCRES-kapabiliteterne Integration & Operational Capabilities, Collaboration, Structure & Knowledge samt Reduction of Uncertainty & Complexity. Integration & Operational Capabilities styrkes gennem standardiserede API'er, der sikrer teknisk integration mellem heterogene systemer som ERP, blockchain og IoT-enheder, hvilket forbedrer operationel koordination og transparens (Akram, et al., 2024). Collaboration fremmes ved nem og hurtig onboarding af partnere samt deling af data på tværs af forsyningskæden, hvilket effektiviserer samarbejde og koordinering (Ismail, et al., 2025). Structure & Knowledge understøttes via fælles datastandarder og modeller, som skaber fælles forståelse og beslutningsgrundlag. Endelig reduceres usikkerhed og kompleksitet, idet realtidsdeling af data eliminerer informationsasymmetri og forenkler koordinering og planlægning (Akram, et al., 2024).

Cloud-baserede Open APIs og data-økosystemer tilfører værdi i alle tre SCRES-faser: Readiness, Response og Recovery. I Readiness-fasen giver teknologien mulighed for at integrere forskellige systemer og datakilder på forhånd, hvilket forbedrer virksomhedens beredskab og evne til at opdage potentielle disruptions tidligt (Ismail, et al., 2025). I Response-fasen muliggør standardiserede API'er hurtig og effektiv tilkobling og integration af nye aktører samt øjeblikkelig koordinering af handlinger, hvilket sikrer en hurtig og effektiv respons (Akram, et al., 2024). I Recovery-fasen understøtter teknologien fleksibel reallokering af ressourcer og effektiv genopretning gennem adgang til realtidsdata på tværs af forsyningskædens aktører (Akram, et al., 2024).

Samlet set styrker Open APIs og data-økosystemer virksomhedernes Integration & Operational Capabilities, Collaboration, Structure & Knowledge samt Reduction of Uncertainty & Complexity, hvilket bidrager bredt til forsyningskædens evne til effektivt at forberede, reagere og genoprette sig efter disruptions.

4.1.3.5 Mini-syntese Cloud

På tværs af de fire analyserede cloudcomputing-anvendelser dokumenterer litteraturen klart, at realtidsdatadeling og fleksibel analysekapacitet markant øger både forsyningskædens

beslutningshastighed og operationelle gennemsigtighed. Tre SCRES-kapabiliteter fremstår særligt stærkt og gennemgående:
Visibility styrkes betydeligt via control-tower dashboards og realtidsdataintegration, som samler information fra IoT-enheder, ERP-systemer og eksterne kilder og skaber et præcist, kontinuerligt overblik over forsyningskæden (Ismail, et al., 2025; Ivanov, et al., 2019).
Integration & Operational Capabilities forbedres gennem elastic analytics og åbne API-økosystemer, der muliggør sømløs datadeling og koordineret drift på tværs af forskellige systemer, afdelinger og virksomheder, hvilket sikrer operationel præcision og effektivitet (Ismail, et al., 2025; Akram, et al., 2024)
Agility & Responsiveness øges ved hjælp af edge-cloud integration, som sikrer hurtige, lokale beslutninger understøttet af centraliseret analyse og koordinering. Det er især kritisk i tidssensitive flows såsom pharma- og fødevarekæder (Sutar, et al., 2025; Schroeder & Lodemann, 2021).
Når disse kapabiliteter kombineres i praksis, kan forsyningskæden hurtigt identificere potentielle problemer, handle proaktivt og justere processer i realtid, hvilket reducerer risikoen for store forstyrrelser og ineffektivitet. Denne cloud-drevne operationelle robusthed danner afsæt for næste afsnit, hvor skribenterne undersøger, hvordan organisatoriske styringsmodeller kan omsætte denne nye datadrevne beslutningskraft til målbare resultater.

4.2 Tværgående analyse og syntese: AODT, SCM-aktiviteter og bullwhip-effekt

Anden del kobler syntesen fra RQ1-RQ3 til RQ4 ved at anvende (Mentzer, et al., 2001) syv SCM-aktiviteter som analytisk ramme. Herved undersøges, hvordan hver teknologi via de identificerede kapabiliteter konkret dæmper bullwhip-effektens fire drivere (prognoseopdateringer, order batching, prissvingninger og shortage gaming). Resultatet præsenteres i en matrix, der tydeliggør de mest effektive teknologi-aktivitet-kombinationer og danner et operationelt udgangspunkt for den efterfølgende diskussion af praktiske konsekvenser for lagerbinding, servicegrad og økonomisk robusthed.

4.2.1 Overgang og syntetisk introduktion

Efter gennemgangen af, hvordan AI, blockchain og cloud computing hver især bidrager til at styrke forsyningskædens robusthed, samles analysen nu i en tværgående syntese. Fokus rettes mod, hvordan de konkrete AODT-use-cases i samspil adresserer de centrale årsager til bullwhip-effekten ved at aktivere de SCM-aktiviteter, der er defineret i teoriafsnit 2.2.3 (Mentzer, et al., 2001). Denne tilgang gør det muligt, på et klart empirisk grundlag og uden yderligere antagelser, at dokumentere

sammenhængen mellem digitale teknologier, SCM-praksis og dæmpning af bullwhip-effekten. Herved synliggøres, hvordan digitale løsninger i praksis kan operationalisere SCM-principper og bidrage til en mere modstandsdygtig og koordineret værdikæde.

4.2.2 Struktur og metodisk greb

Analysens struktur tager direkte afsæt i teoriafsnit 2.2.3, hvor Mentzer et al. (2001) identificerer de syv centrale SCM-aktiviteter, og i teoriafsnit 2.4, hvor bullwhip-effektens fire drivere er defineret ud fra Lee et al. (1997). Matrixen, som analysen bygger på, kobler eksplicit hver bullwhip-årsag (jf. 2.4) til relevante SCM-aktiviteter (jf. 2.2.3) og de AODT-use-cases, der er dokumenteret i analyseafsnit 4.1.

4.2.3 Matrixen som overblik

Tabellen 3 nedenfor viser, hvordan de vigtigste årsager til bullwhip-effekten kan kobles sammen med udvalgte aktiviteter fra Mentzers SCM-ramme (se teoriafsnit 2.2.3) og konkrete eksempler på digitale teknologier fra analysen i afsnit 4.1. Tabellen er bygget op sådan, at hver række starter med en bestemt bullwhip-årsag (i venstre kolonne), fortsætter med de SCM-aktiviteter, der ser ud til at kunne styrkes i denne sammenhæng (i midten), og slutter med eksempler på teknologiske løsninger, der ifølge de gennemgåede cases og litteraturen kan skabe forbindelsen (i højre kolonne). På den måde giver tabellen et samlet overblik over, hvordan digitale teknologier i praksis kan hjælpe med at omsætte SCM-principper til handling og dermed mindske effekten af bullwhip. Tabellen danner grundlaget for de følgende afsnit, hvor hver årsag til bullwhip-effekten bliver forklaret mere detaljeret.

Tabel 3:**Koblingsmatrix mellem bullwhip-drivere, Mentzers syv SCM-aktiviteter og AODT-use-cases (egen tilvirkning)**

Bullwhip-årsag	**Mentzer-aktiviteter der styrkes (jf. 4.1)**	**Hvordan AODT-use-cases skaber forbindelsen (jf. analyse 4.1)**
Forecast errors / updates	**Mutual information sharing** alle ser samme opdaterede efterspørgselsdata. **Integrated planning** lager og kapacitet tilpasses samlet. **Common goals & metrics** forecast-nøjagtighed er fælles KPI.	*AI demand sensing* samler salgs-, markeds- og eksterne data til et signal, så alle arbejder ud fra samme tal (*jf. 4.1.1.1*). *Cloud analytics* gør det let at opdatere planer for hele kæden (*jf. 4.1.1.2*).
Order batching	**Process integration** ordrer og leverancer bliver løbende, ikke i bunker. **Risk/reward sharing** fordele og omkostninger deles ved små ordrer. **Integrated behaviour** automatiske regler følges af alle.	*Blockchain smart contracts* håndterer små og hyppige ordrer automatisk (*jf. 4.1.2.1*). *AI* tilpasser ordrestørrelser løbende (*jf. 4.1.1.4*). *Cloud* samler alle parter i et digitalt system (*jf. 4.1.3.3*).
Price fluctuations	**Common goals & metrics** kampagneeffekter måles fælles. **Co-operation & trust** alle ser samme prisdata.**Integrated planning** pris og kapacitet koordineres.	*Blockchain* registrerer alle priser og kampagner, så ingen kan "gemme" data (*jf. 4.1.2.2*). *Cloud analytics* muliggør små, løbende prisændringer (*jf. 4.1.3.2*). *AI* viser effekten af prisændringer (*jf. 4.1.1.1*).
Shortage gaming	**Risk/reward sharing** rationering er gennemsigtig og automatisk.**Information sharing** alle kan se lager- og ordrehistorik. **Co-operation & trust** mere åbenhed mindsker spekulation.	*Smart contracts* fordeler varer automatisk, så ekstra bestillinger ikke belønnes (*jf. 4.1.2.1*). *Blockchain* viser lager- og ordrehistorik (*jf. 4.1.2.2*). *AI* og *cloud* fanger hurtigt mistænkelige mønstre (*jf. 4.1.1.5, 4.1.3.4*).
Manglende deling af information	**Mutual information sharing** alle ser samme data.**Process integration** drift og planlægning samles i et system.	*Cloud dashboards* samler data et sted, så alle led arbejder ud fra det samme (*jf. 4.1.3.1*). *Blockchain* og *AI* hjælper med at fange fejl eller afvigelser tidligt og dele dem i hele kæden (*jf. 4.1.2.3, 4.1.1.3*).

4.2.4 Tematisk gennemgang af bullwhip-drivere

Afsnittet grupperer SLR-fundene efter de fire klassiske bullwhip-drivere. For hver driver samles de væsentligste eksempler, kobles til relevante SCM-aktiviteter og matches med de digitale løsninger, litteraturen foreslår. Resultatet er et kompakt overblik, der danner bro til vurderingen af, hvordan AI, blockchain og cloud konkret kan dæmpe hver driver, jf. Tabel 3.

4.2.4.1 Prognosefejl og forecast-opdateringer: AI

Fejl i efterspørgselsprognoser og hyppige forecast-opdateringer er en central årsag til bullwhip-effekten, idet små forskydninger forstærkes op gennem forsyningskæden (jf. 2.4). Analysen fremhæver, at implementering af AI-baseret demand sensing og integreret planlægning (jf. 4.1.1.1 og 4.1.1.2) har stor betydning for at adressere denne udfordring.

Når virksomheder anvender AI til at indsamle og analysere data fra både POS, makroøkonomiske kilder og sociale medier, dannes et samlet og opdateret "demand-signal", som deles på tværs af alle led i kæden. Denne praksis styrker det, Mentzer et al. (2001) betegner som mutual information sharing, fordi alle aktører arbejder ud fra de samme realtidsbaserede oplysninger og dermed undgår lokale fortolkninger og informationsasymmetri.

Samtidig viser analysen, at AI-drevne kapacitets- og lagerplanlægningsværktøjer gør det muligt at justere både lager og produktion synkront gennem hele forsyningskæden. Planer opdateres automatisk, når nye data bliver tilgængelige, og cloud-baserede analytics sikrer, at alle involverede hurtigt kan tilpasse sig ændringer i markedet. Denne form for integrated planning / decision making betyder, at ingen led i kæden behøver tage ekstra forbehold eller tilføje egne sikkerhedslagre, hvilket ellers ofte skaber unødvendige udsving.

Endelig tydeliggør analysen, at forecast-nøjagtighed ofte gøres til et fælles målepunkt på tværs af samarbejdspartnere (common goals & metrics). Når præcisionen i prognoser deles som fælles KPI, opnås både bedre koordinering og et fælles incitament til at forbedre datagrundlaget løbende.

Sammenfattende illustrerer analysen, at samspillet mellem AI demand sensing, avanceret planlægning og cloud-baseret dataanalyse understøtter flere af Mentzers nøgleaktiviteter. Resultatet er, at hele forsyningskæden arbejder ud fra et fælles og retvisende beslutningsgrundlag, hvilket mindsker risikoen for, at små forecast-fejl vokser sig store og destabiliserer kæden.

4.2.4.2 Ordrebatching: Automatisering, smart contracts og procesintegration

Order batching altså tendensen til at samle indkøb i større partier og med længere mellemrum er en velkendt årsag til bullwhip-effekten (jf. 2.4). Analysen viser, at digitale løsninger som blockchain-

baserede smart contracts (jf. 4.1.2.1), AI-drevet løbende ordremodellering (jf. 4.1.1.4) og cloud-baserede Open APIs (jf. 4.1.3.3) har potentiale til at modvirke denne adfærd ved at styrke flere af Mentzers SCM-aktiviteter: særligt process integration, risk/reward sharing og integrated behaviour (jf. 2.2.3).

Brugen af smart contracts gør det muligt at automatisere hele ordreforløbet, så bestilling og betaling gennemføres digitalt uden manuelle trin. Det mindsker de administrative omkostninger og gør det økonomisk attraktivt at sende mindre og hyppigere ordrer, fordi processerne glider direkte ind i partnernes systemer (process integration). Samtidig kan smart contracts udforme klare regler for, hvordan eventuelle besparelser på lager og transport, eller ekstra omkostninger ved hyppigere ordrer, fordeles mellem parterne (risk/reward sharing). For eksempel kan rabatter eller fragtgebyrer automatisk justeres efter, hvor ofte og hvor meget der bestilles, og begge parter får fuld transparens om betingelserne.

Desuden muliggør AI-baserede løsninger, at ordre- og leverancestørrelser hele tiden optimeres, så de passer bedre til faktisk efterspørgsel fremfor at følge faste eller manuelle intervaller. Her understøtter teknologien, at alle parter tilpasser sig samme logik og regler for, hvordan og hvornår der bestilles (integrated behaviour).

Cloud-baserede Open APIs gør det let for alle relevante aktører at koble sig på samme digitale platform, så informationsstrømme og processer kan opdateres og deles i realtid på tværs af kæden uden silodannelser.

Samlet viser analysen, at disse teknologiske mekanismer understøtter, at ordrer ikke længere behøver samles i store partier med lange intervaller. I stedet kan der opnås et mere jævnt og koordineret flow af bestillinger, hvilket dæmper udsvingene og gør forsyningskæden mere stabil og forudsigelig.

4.2.4.3 Prisudsving og kampagner: Blockchain

Store udsving i priser og kampagneaktiviteter kan skabe markante forvrængninger i ordreflowet, hvor midlertidige rabatter eller kampagner ofte får aktører i forsyningskæden til at hamstre eller ændre bestillingsmønstre (jf. 2.4). Analysen viser, at digitale teknologier kan støtte flere af Mentzers SCM-aktiviteter, især common goals & metrics, co-operation & trust og integrated behaviour (jf. 2.2.3).

Anvendelse af blockchain-baserede provenance ledgers (jf. 4.1.2.2) giver alle parter adgang til en fælles og uforanderlig historik over priser og transaktioner. Denne gennemsigtighed styrker tilliden og samarbejdet i kæden (co-operation & trust), da ingen aktører kan “spille” systemet gennem skjulte prisændringer eller udnytte fortidige kampagner uden, at det opdages af andre.

Samtidig gør cloud-baserede analytics det muligt løbende at tilpasse og justere priser i mindre trin frem for at lave sjældne og store kampagner. Denne tilgang giver et mere stabilt grundlag for beslutninger og styrker en adfærd, hvor alle parter orienterer sig mod fælles mål for kampagneeffekt og afkast (common goals & metrics).

Brugen af AI demand sensing (jf. 4.1.1.1) understøtter desuden, at effekten af kampagner og prisændringer kan måles og forstås på tværs af kæden. Når alle har adgang til samme information om markedets reaktion, kan kampagnebeslutninger tilpasses, så de ikke skaber overreaktioner. Dette fremmer en adfærd, hvor virksomheder løbende tilpasser sig efter fælles, data-drevne principper (integrated behaviour).

Sammenfattende peger analysen på, at brugen af blockchain, cloud analytics og AI skaber større gennemsigtighed, styrker samarbejdet og sikrer, at prisbeslutninger forankres i fælles mål og ansvar på tværs af hele værdikæden.

4.2.4.4 Shortage gaming: Digital rationering, sporbarhed og adfærdsregulering

Shortage gaming opstår, når aktører i forsyningskæden forsøger at udnytte forventet mangel ved at overbestille, med det formål at sikre sig en større andel af de knappe varer (jf. 2.4). Dette forstærker ustabilitet og skaber yderligere bullwhip-effekt op gennem kæden. Analysen viser, at digitale teknologier kan adressere denne udfordring gennem flere af Mentzers SCM-aktiviteter: især risk/reward sharing, information sharing og co-operation & trust (jf. 2.2.3).

Brugen af blockchain-baserede smart contracts (jf. 4.1.2.1) gør det muligt at indføre automatiske rationeringsregler, der sikrer en transparent og retfærdig fordeling af knappe varer. Når fordelingsmekanismerne er kodet ind i smart contracts, kan ekstra bestillinger eller forsøg på gaming ikke give aktørerne en fordel. Det bidrager til risk/reward sharing, da alle ved, at fordelingen sker efter objektive og aftalte regler.

Samtidig sikrer anvendelsen af blockchain provenance ledgers, at både lager- og ordrehistorik er synlig for alle relevante parter (jf. 4.1.2.2). Denne form for information sharing gør det muligt at spore spekulative eller usædvanlige ordrebevægelser, så eventuel gaming hurtigt opdages og håndteres.

Derudover fremhæves brugen af AI-baserede anomaly alerts (jf. 4.1.1.5), som overvåger og identificerer uventede ordrespikes eller afvigende adfærd i realtid. Når sådanne mønstre opstår, kan hele netværket blive advaret, hvilket gør det muligt at gribe ind, før problemet forplanter sig op gennem kæden.

Endelig understøtter cloud-baserede control-tower løsninger (jf. 4.1.3.4), at alle aktører løbende kan følge status på lagre og knaphedssituationer live. Denne gennemsigtighed styrker både co-operation

& trust og reducerer motivationen for opportunistisk adfærd, fordi hele kæden handler ud fra samme, opdaterede information.

Samlet viser analysen, at samspillet mellem blockchain, AI og cloud skaber forudsætninger for både retfærdig fordeling, åbenhed og øget tillid tre afgørende faktorer, hvis shortage gaming og relateret bullwhip-effekt skal dæmpes effektivt.

4.2.4.5 Manglende informationsdeling: Cloud dashboards, datadeling og tidlig varsling

Selvom manglende deling af information ikke traditionelt beskrives som en selvstændig bullwhip-driver, er det et grundvilkår, der forstærker alle de øvrige årsager og øger risikoen for ineffektive beslutninger gennem hele kæden. Når data ikke flyder frit mellem aktørerne, øges risikoen for misforståelser, lokale optimeringer og forsinkede reaktioner, hvilket indirekte bidrager til bullwhip-effekten (jf. 2.4). Derfor indgår denne dimension i analysen.

Analysen viser, at digitale teknologier især kan styrke tre af Mentzers SCM-aktiviteter: mutual information sharing, process integration og decision making (jf. 2.2.3). Brugen af cloud-baserede control-tower dashboards (jf. 4.1.3.1) gør det muligt at konsolidere data fra IoT, ERP og eksterne systemer i realtid. Alle led i forsyningskæden får adgang til den samme version af virkeligheden og handler ud fra et fælles datagrundlag (mutual information sharing).

Derudover viser analysen, at samarbejde om CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) kan understøttes af blockchain-teknologi (jf. 4.1.2.3). Her lagres planlægningsbeslutninger og opdateringer i en fælles ledger, og smart contracts sikrer, at alle ændringer bliver delt og gennemført automatisk på tværs af parterne. Dette skaber en mere samordnet og integreret beslutningsproces, hvor hele værdikæden koordinerer lager, produktion og genopfyldning på tværs (process integration og decision making).

Endelig muliggør AI-baserede anomaly alerts (jf. 4.1.1.3), at uregelmæssigheder og afvigelser spottes og deles i hele netværket i realtid. På den måde kan alle relevante aktører reagere hurtigt og simultant, hvis der opstår en afvigelse eller risiko.

Samlet viser analysen, at cloud, blockchain og AI tilsammen understøtter en mere transparent, sammenhængende og hurtigere informationsdeling. Når hele kæden handler ud fra den samme opdaterede viden, styrkes både samarbejde og koordination og risikoen for forvrængede signaler og ineffektive reaktioner minimeres.

4.2.4.5 Samlet syntese og kritisk vurdering

Analysen af de centrale bullwhip-drivere viser tydeligt, hvordan digitale teknologier, særligt AI, blockchain og cloud, gør det muligt at adressere de mekanismer, der traditionelt har skabt ustabilitet og ineffektivitet i forsyningskæden. For hver af de klassiske bullwhip-udløsere, fra prognosefejl og ordrebatching til prisudsving, shortage gaming og manglende informationsdeling, demonstrerer opgaven, hvordan teknologierne styrker specifikke SCM-aktiviteter, som mutual information sharing, process integration, risk/reward sharing, co-operation & trust og integrated behaviour (jf. 2.2.3).

AI-baseret demand sensing og avanceret planlægning sikrer, at hele kæden arbejder ud fra det samme realtidsbillede og beslutningsgrundlag. Blockchain muliggør automatisering, sporbarhed og retfærdig fordeling, mens cloud-løsninger og åbne API'er understøtter løbende integration og informationsdeling på tværs af systemer og partnere. Dermed nedtones både informationsasymmetri, cyklisk bestillingsadfærd, strategisk gaming og forvrængede prisincitamenter.

Syntesen peger samtidig på, at den egentlige styrke i digitale teknologier ikke blot ligger i at løse et isoleret bullwhip-problem, men i at gøre forsyningskæden mere transparent, sammenhængende og robust på tværs af flere risikoscenarier. Den systematiske aktivering af SCM-aktiviteter muliggjort af AODT skaber grundlaget for en koordineret, data-drevet og fleksibel værdikæde, der bedre kan håndtere både kendte og nye former for forstyrrelser.

Dog understreges det, at det fulde udbytte af teknologierne ofte forudsætter, at organisatoriske, tekniske og adfærdsmæssige barrierer kan overvindes. Modstand mod forandring, manglende digitale kompetencer, fragmenteret infrastruktur og lav tillid mellem aktører fremstår som væsentlige udfordringer, der kan bremse potentialet og kræver strategisk opmærksomhed i alle led.

Denne forståelse danner bro til en bredere risikovurdering: Bullwhip-effekten fungerer her som en illustrativ case, hvor de digitale værktøjer og SCM-principper, der effektivt dæmper klassiske forvrængninger, også kan generaliseres og operationaliseres i forhold til det voksende spektrum af supply chain-risici, som kendetegner Industry 4.0. Derfor er næste skridt at placere bullwhip-indsigterne i den samlede kontekst af digitale risiko- og robusthedsudfordringer i moderne forsyningskæder.

Bullwhip-effekten er i projektet valgt som gennemgående case, ikke fordi den er den eneste eller alvorligste trussel mod moderne forsyningskæder, men fordi årsagskæderne bag fænomenet er veldokumenterede og lette at kvantificere. Netop derfor er den velegnet til at vise, hvordan action-oriented digitale teknologier (AI, blockchain og cloud) kan omsætte Mentzers syv SCM-aktiviteter til konkret risikodæmpning. Analysen demonstrerer, at når teknologierne øger synlighed, koordination og dataintegritet, dæmpes de mekanismer—prognosefejl, order batching, prisudsving og shortage gaming—der driver bullwhip-udsving.

Denne logik udgør en generel fremgangsmåde til håndtering af forsyningskæderisici. Ved at koble (1) en identificeret risikotype, (2) de relevante SCM-aktiviteter og (3) passende AODT-løsninger kan virksomheder opbygge en struktureret værktøjskasse, der også kan anvendes på andre scenarier som demand shocks, leverandørsvigt eller cyberangreb. Diskussionen i kapitel 5 fokuserer derfor på, hvordan kombinationen af teknologisk parathed og relationelle kapabiliteter bør tilpasses forskellige risikoprofiler, og hvor grænserne for digitalt drevet risk management går. Konklusionen samler disse indsigter og peger på de mest lovende veje for både videre forskning og praktisk implementering i forsyningskæder, der ønsker større robusthed i et omskifteligt miljø.

5. Diskussion & Konklusion

Kapitel 5 fortolker resultaterne fra kapitel 4 med henblik på at besvare afhandlingens hovedspørgsmål (HQ) samt de tilknyttede underspørgsmål (RQ1-4). Kapitlet er struktureret, så resultaterne først samles i en tværgående syntese, der fremhæver de centrale fund fra analyserne af AI, blockchain og cloud-teknologierne. Herefter diskuteres fundenes generaliserbarhed med fokus på bullwhip-effekten og de bredere SCRES-kapabiliteter. Dernæst perspektiveres resultaterne teoretisk i forhold til eksisterende litteratur, hvorefter deres relevans for økonomistyring tydeliggøres. Endelig belyses projektets begrænsninger samt muligheder for videre forskning.

5.1.1 Svar på RQ1 Teknologianvendelse

RQ1 søgte at klarlægge, hvordan AI, blockchain og cloud computing omsættes til konkrete supply-chain-løsninger, identificeret gennem 14 praksisnære use cases fra den systematiske litteraturgennemgang (SLR).

Blandt disse cases viste det sig særligt, at AI-teknologier som demand sensing og predictive analytics indgår i efterspørgselsstyringen ved at sammenflette salgsdata (POS), makroøkonomiske indikatorer og sociale mediesignaler i et samlet efterspørgselssignal. Denne mekanisme reducerer forecastfejl og sikrer løbende scenarieopdateringer, hvilket øger agiliteten og præcisionen i demand management. Samtidig optimerer AI-teknologier lagerstyring og kapacitetsallokering gennem algoritmisk forecasting, anomaly detection og reinforcement learning.

Blockchain anvendes primært i Supplier & Relationship Management gennem løsninger som track-and-trace, smart contracts og compliance audits. Disse løsninger muliggør realtidssporbarhed fra råvareleverandører til slutkunde, hvilket mindsker opportunistisk adfærd og letter håndtering af recalls og regulatoriske krav. Samtidig automatiserer smart contracts ordreafvikling og betaling, hvilket fremmer samarbejde og tillid blandt forsyningskædens aktører. Endvidere understøtter

blockchain-baseret CPFR-samarbejde fælles forecasting og replenishment, som yderligere reducerer rationeringsadfærd.

Cloud computing understøtter integreret planlægning gennem control-tower dashboards, som konsoliderer data fra ERP-systemer, IoT-sensorer og eksterne informationskilder. Denne funktion muliggør realtidskoordination af forsyningskædens kapacitet, lagerstatus og risici. Hertil kommer edge-cloud-teknologier, der sikrer realtidsmonitorering af kritiske forsyningskæder, mens åbne API'er muliggør fleksibel integration af partnere og systemer. Serverless event-drevet arkitektur giver yderligere fleksibilitet ved automatisk skalering under høje belastninger, hvilket reducerer behovet for manuel styring og sikrer hurtig tilpasning til ændrede forhold.

Tilsammen viser resultaterne fra SLR'en, hvordan virksomheder konkret operationaliserer AODT til at understøtte de centrale SCM-områder inden for demand management, supplier & relationship management samt integreret planlægning. Hermed demonstreres det tydeligt, at teknologierne ikke alene tilfører data, men også styrker virksomheders evne til proaktiv og effektiv supply-chain-styring.

5.1.2 Svar på RQ2 Kapabilitetspåvirkning

RQ2 havde til formål at identificere, hvordan implementering af AI, blockchain og cloud computing påvirker specifikke SCRES-kapabiliteter. Med udgangspunkt i Ponomarov & Holcombs ramme fremhæver analysen i afsnit 4.1, hvordan agilitet primært aktiveres af AI-teknologier som demand sensing og adaptive replanning loops, der hurtigt muliggør løbende justering af (Dey, et al., 2024). Fleksibilitet og redundans styrkes ligeledes gennem AI, især ved predictive maintenance, hvor kapacitet og lagerbeholdninger løbende tilpasses ud fra præcise prognoser og risikoestimater, hvilket reducerer behovet for store sikkerhedslagre (Ismail, et al., 2025).

Synlighed (visibility) løftes især af blockchain-baserede provenance-ledgers, som sikrer realtidsoverblik over forsyningskædens led, og derved hurtigt afslører afvigelser (Alkhudary, et al., 2024). Dette suppleres af AI's anomaly detection, der tidligt opdager mønsterbrud og potentielle forstyrrelser.

Samarbejde og integration understøttes på tværs af kæden gennem blockchain-faciliteret CPFR-samarbejde, der skaber fælles planlægningsmiljøer med automatisk kontrakteksekvering, og gennem cloud-teknologiers åbne API'er, som sikrer friktionsfri integration mellem interne systemer og eksterne partnere (Manzoor, et al., 2024; Akram, et al., 2024).

Endeligt muliggør AI-baserede adaptive learning-systemer, især via reinforcement learning, at supply chain-planlægningen løbende forbedres gennem algoritmisk læring baseret på tidligere performance-data (Ivanov, et al., 2019). Dette sikrer en kontinuerlig opbygning af organisatorisk viden og øger evnen til at respondere hurtigt på fremtidige forstyrrelser.

Samlet viser analysen, at AI primært driver agilitet, fleksibilitet og adaptiv læring, blockchain bidrager særligt til synlighed og samarbejde, mens cloud computing især muliggør integration på tværs af supply chain-aktørerne. Tilsammen udgør disse teknologier dermed en samlet portefølje, der effektivt understøtter centrale SCRES-kapabiliteter.

5.1.3 Svar på RQ3 Fasebidrag

RQ3 undersøgte, hvordan AI, blockchain og cloud computing bidrager til de centrale SCRES-faser: forebyggelse (readiness), respons og genopbygning (recovery). Analysen i afsnit 4.1 viser, at teknologierne fordeler sig på tværs af faserne med forskellige primære styrker, men samtidig understøtter hver teknologi flere faser. AI-teknologier spiller især en afgørende rolle i forebyggelsesfasen gennem demand sensing, hvor POS-data, makroøkonomiske indikatorer og sociale signaler samles i et efterspørgselssignal. Dette muliggør tidlig identifikation af potentielle risici og løbende justering af lager- og kapacitetsplaner, før problemer eskalerer.

Under selve responsfasen står blockchain-teknologier centralt, idet realtidsproveniens og automatiserede smart contracts sikrer hurtig koordinering og handling i det øjeblik, en disruption opstår. Track-and-trace-mekanismerne giver øjeblikkelige overblik over forsyningskædens status, mens automatiserede kontrakter muliggør hurtige beslutninger omkring levering, betalinger og erstatningsleverancer. Proveniensdata, som allerede eksisterer i blockchain-ledgeren, understøtter endvidere proaktiv risikohåndtering før disruptions opstår.

I genopbygningsfasen (recovery) fremhæves især cloud-baserede teknologier såsom control towers og elastic analytics. Disse værktøjer sikrer hurtige scenarieanalyser og kapacitetsplanlægning efter hændelser, hvilket gør det muligt hurtigt at genoprette og rebalancere forsyningskæden. De samme cloud-værktøjer leverer imidlertid også præventive simuleringer i forebyggelsesfasen og sikrer realtidsdataunderstøttelse under responsfasen.

Samlet viser analysen, at mens AI primært styrker forebyggelse, blockchain primært understøtter respons, og cloud primært fremmer hurtig genopbygning, fungerer teknologierne samlet som en integreret støtte gennem alle SCRES-faser, hvilket sikrer en robust, kontinuerlig håndtering af forsyningskæderisici.

5.1.4 Svar på RQ4 Driverdæmpning

Bullwhip-effekten anvendes her som illustrativ case for at vise, hvordan action-oriented digitale teknologier konkret reducerer forsyningskædens klassiske risikodrivere. Analysen demonstrerer, at forecast-fejl effektivt mindskes gennem AI-baseret demand sensing, der sammen med cloud-teknologiens integrerede planlægningsværktøjer giver et samlet, opdateret efterspørgselssignal på tværs af hele kæden. Order batching reduceres betydeligt ved hjælp af blockchain-baserede smart contracts, der automatiserer mindre ordrer, samt cloud-platformenes API'er, som sikrer realtidskoordination og integreret beslutningstagning mellem aktørerne. Prisvariation dæmpes, idet blockchain-ledgers dokumenterer prisaftaler og rabatter åbent og uforanderligt, suppleret af cloud-analytics, der muliggør løbende, transparente prisjusteringer. Endeligt reduceres shortage gaming gennem blockchain-understøttet synlighed af lager- og ordrehistorik kombineret med AI-baserede anomaly alerts, der hurtigt opdager taktiske bestillingsmønstre. Disse delresultater viser samlet, at de undersøgte teknologier ikke blot isoleret modvirker enkelte bullwhip-drivere, men understøtter hele den samlede risikohåndteringsproces fra identifikation til vurdering og respons. Dermed skabes et solidt fundament for den efterfølgende diskussion af teknologiens betydning for supply chain resilience.

5.2 Diskussion

Dette afsnit sætter resultaterne fra kapitel 4 i relation til teori og praksis. Først sammenlignes de fundne virkninger af AI, blockchain og cloud med den eksisterende litteratur om agilitet, synlighed og usikkerhedsreduktion (RQ 1-3). Dernæst vurderes, om teknologisk parathed kan kompensere for manglende tillid og informationsdeling. På den baggrund diskuteres, hvor realistisk det er, at de identificerede teknologi-SCM-kombinationer faktisk kan dæmpe bullwhip-effekten (RQ 4). Afsnittet afslutter med studiets vigtigste begrænsninger og forslag til fremtidige undersøgelser.

5.2.1 Fra bullwhip til bred risikopalet

Bullwhip-effekten er i denne afhandling valgt som en illustrativ case, fordi den på overskuelig vis synliggør typiske koordineringsproblemer og informationsasymmetrier i forsyningskæder. Ved at fremhæve, hvordan små efterspørgselsudsving hurtigt forstærkes opstrøms, bliver mekanismer som forecast-fejl, batching, prisvariationer og gaming tydelige og målbare. Dermed fungerer bullwhip som et didaktisk værktøj, hvor effekten af action-oriented digitale teknologier kan undersøges systematisk uden behov for yderligere begrebsmæssige forklaringer.

De fundne mekanismer i analysen af bullwhip-casen har dog også klar relevans for en bredere risikopalet. Eksempelvis kan AI-drevet demand sensing, som adresserer forecast-fejl, direkte overføres til håndteringen af pludselige efterspørgselschok. På tilsvarende vis vil blockchain-baseret provenance-ledgers, der reducerer gaming-adfærd, også styrke forsyningskædens robusthed mod

cyberangreb ved at opretholde dataenes integritet og sporbarhed. Endvidere kan cloud-baserede scenarioværktøjer og control towers, som blev fremhævet i forbindelse med genopbygning efter bullwhip-relaterede forstyrrelser, effektivt anvendes til simulering af en lang række disruptionscenarier såsom geopolitiske kriser eller logistiske nedbrud.

Sammenfattende tydeliggør resultaterne således, at bullwhip ikke blot fungerer som et isoleret eksempel, men snarere illustrerer et generelt princip: de identificerede AODT-mekanismer kan anvendes bredt til at styrke forsyningskædens modstandsdygtighed over for mange forskellige risikokategorier. Dette peger imidlertid også på behovet for yderligere empiriske undersøgelser, der systematisk afdækker og validerer teknologiens effekter under varierende betingelser og brancher.

5.2.2 Teoretiske implikationer

Resultaterne fra analysen bidrager til SCM-litteraturen ved at konkretisere og videreudvikle Mentzers aktivitetsramme. Her bliver det tydeligt, at action-oriented digitale teknologier (AODT) ikke blot understøtter eksisterende aktiviteter, men aktivt operationaliserer dem gennem tekniske løsninger. For eksempel realiseres informationsdeling gennem cloud-baserede kontroltårne, mens procesintegration opnås direkte via blockchain-understøttede smart contracts. På samme vis sikrer AI-drevne demand-signaler automatisk fælles målepunkter, hvilket reducerer behovet for løbende koordineringsindsatser. Dermed bevæger SCM-aktiviteterne sig fra organisatoriske intentioner og aftaler til integrerede, automatiserede teknologiske løsninger.

Inden for SCRES-teorien specificerer denne afhandling desuden, hvordan de traditionelle kapabiliteter, beskrevet af Ponomarov & Holcomb, konkretiseres gennem digitale teknologier. Dermed bliver ellers abstrakte begreber som agilitet og synlighed mekanistisk operationaliserbare, eksempelvis som latenstid i machine-learning-baserede loops eller som sporbarhed af data på blockchain-ledgers. Dette skaber en præcis forståelse af, hvordan robusthed og modstandsdygtighed måles og styrkes gennem tekniske parametre og digitale infrastrukturer, og åbner for en mere håndgribelig diskussion af SCRES i praksis.

Afhandlingen bidrager endvidere til digital-tech-litteraturen ved at definere begrebet "action-oriented" digitale teknologier tydeligere. Her adskilles AI, blockchain og cloud klart fra andre digitale løsninger såsom IoT og robotics. Mens IoT og robotics primært fokuserer på at registrere og udføre fysiske handlinger, opererer AODT på beslutnings- og koordineringsniveau. Disse teknologier initierer autonomt eller tilpasser handlinger som ordrejustering og dynamiske prisændringer i realtid, hvilket tydeligt differentierer dem i forhold til deres evne til at styrke forsyningskædens resiliens.

Samlet set understreger disse teoretiske implikationer, at fremtidig SCM- og SCRES-forskning med fordel kan basere sig på en teknologisk funderet tilgang, hvor kapabiliteter og aktiviteter defineres ud fra konkrete digitale mekanismer snarere end generelle organisatoriske eller aftalebaserede processer. Dette skaber både en klarere terminologi og mere præcise mål for, hvordan teknologiske løsninger kan styrke forsyningskædens modstandsdygtighed i praksis.

5.2.3 Økonomistyringsperspektiv

De analyserede teknologiske mekanismer har klare implikationer for centrale økonomistyringsmål som kapitalbinding, likviditet og udviklingen af controllerrollen. Resultaterne fra den systematiske litteraturgennemgang (SLR) viser, at AI-baseret demand sensing medfører en forbedret præcision i forecasting, hvilket muliggør lavere sikkerhedslagre og dermed reducerer kapitalbindingen (Ivanov, et al., 2019; Han & Fang, 2023). Denne reduktion i sikkerhedslagre styrkes yderligere af blockchain-teknologiens realtidsvisibilitet, som skaber et samlet og transparent overblik over lagerpositioner på tværs af forsyningskæden. Hermed mindskes risikoen for overlagerføring og dobbeltsikring, som traditionelt binder unødig arbejdskapital (Hong & Hales, 2024).

Endvidere dokumenterer SLR'en, at blockchain-baserede smart contracts positivt påvirker virksomhedens likviditet. Smart contracts automatiserer transaktioner ved at fjerne behovet for manuel tre-vejs-matchning mellem ordre, levering og faktura, hvilket reducerer både transaktionstider og omkostninger (Lohmer, et al., 2020; Petratos & Faccia, 2023; Min, 2019). Samtidig kan blockchain-platforme understøtte mere fleksible finansieringsformer såsom dynamisk factoring, hvilket styrker virksomhedens likviditet yderligere ved hurtigere adgang til kapital i situationer præget af markedsmæssige udsving eller forsyningsforstyrrelser (Han & Fang, 2023).

Resultaterne fra litteraturgennemgangen viser desuden en væsentlig transformation af controllerrollen. Implementeringen af cloud-baserede dashboards kombineret med kunstig intelligens muliggør realtidsindsigt i forecast-afvigelser, leverandørperformance og cash-flow. Dette giver controlleren bedre mulighed for tidligt at opdage og reagere på risici (Ivanov, et al., 2019; Schroeder & Lodemann, 2021). Agent-baserede simuleringer fremhæves yderligere som et værktøj til at teste afbødningsstrategier virtuelt, før beslutningerne implementeres fysisk (Baryannis, et al., 2019). Disse teknologiske værktøjer flytter dermed controllerens opgaver fra bagudskuende rapportering til proaktiv, analytisk beslutningsstøtte.

Sammenfattende viser SLR'en således, at anvendelsen af digitale teknologier som AI, blockchain og cloud computing understøtter økonomistyringsmæssige forbedringer gennem lavere kapitalbinding, styrket likviditet og en mere strategisk orienteret controllerfunktion. Der er imidlertid behov for fremtidige empiriske studier, der kan kvantificere disse gevinster mere præcist og afdække deres realisering i forskellige virksomhedskontekster.

5.2.4 Centrale supply chain-risici i Industry 4.0 relevans for digital risikohåndtering

I takt med at forsyningskæder bliver mere digitale og indlejrer teknologier som AI, blockchain og cloud, ændrer og udvider risikobilledet sig markant. Pandey et al. (2023) peger på, at virksomheder i Industry 4.0-miljøet står overfor både klassiske og nye, teknologidrevne risici, som tilsammen kræver en mere fleksibel og helhedsorienteret tilgang til risk management.

Disse risici spænder fra disruption risk såsom pandemier eller cyberangreb, over supply risk og demand risk, som leverandørsvigt og svingende efterspørgsel. Til mere teknologisk betingede udfordringer som system risk, der dækker over fragmenteret IT-infrastruktur, og cyber security and safety risk. Relationelle og adfærdsmæssige risici, foreksempel behavioural risks i form af manglende tillid, informationsasymmetri eller strategisk tilbageholdelse af data, får øget betydning i takt med, at digitale løsninger kræver tæt samarbejde og åbenhed på tværs af kædeaktører.

Samtidig fremhæver Pandey et al. (2023), at organisatoriske og finansielle barrierer stadig er højt på dagsordenen, foreksempel modstand mod forandring, mangel på digitale kompetencer, samt usikkerhed om investeringsafkast og forretningsmodeller. Socialt og miljømæssigt ansvar, social and environmental risk, og evnen til at håndtere produkter efter salg, product recovery risk, bliver mere centrale, efterhånden som digitalisering skubber på for nye krav fra både kunder og myndigheder.

Det samlede billede viser, at moderne supply chains skal forholde sig til et bredere og mere dynamisk risikosæt end tidligere, hvor teknologi, adfærd, organisation og samfundsmæssige krav smelter sammen. For at imødegå dette kompleksitetspres peger Pandey et al. (2023) på nødvendigheden af, at virksomheder både udvikler stærke SCRES-kapabiliteter, som agility, integration, og visibility, og tager digitale værktøjer aktivt i brug. Kun ved at tænke i helhedsorienterede løsninger, hvor teknologi og SCM-aktiviteter kobles til risikotypen, kan virksomheder opnå robusthed over for både velkendte og nye risici.

Dette understøtter opgavens hovedpointe: At udviklingen af en digital "værktøjskasse" ikke alene skal målrettes mod enkelte problemer som bullwhip-effekten, men har relevans for en bred vifte af risikoscenarier. Den systematiske forståelse af risiko-typerne gør det muligt at matche digitale teknologier og organisatoriske kapabiliteter med de konkrete udfordringer, virksomheden står overfor og dermed skabe et mere resilient og fremtidssikret forsyningsnetværk.

5.2.5 Begrænsninger og fremtidig forskning

Analysen bygger på en systematisk litteraturgennemgang (SLR), som giver et bredt datagrundlag, men samtidig indebærer metodiske begrænsninger. SLR'en er baseret på sekundære data fra engelsksprogede, peer-reviewede artikler, hvilket betyder, at relevant praksisviden, ikke-engelske publikationer samt nyere teknologiske pilotstudier risikerer at være overset. Hertil kommer, at

publiceringsbias typisk kan favorisere positive resultater, hvilket kan give et skævt billede af teknologiens reelle effekter. Endvidere kan anvendte søgetermer og databaser utilsigtet filtrere vigtige studier fra, hvis disse bruger alternative begreber.

Teorimæssigt bygger studiet på etablerede modeller fra Mentzer samt Ponomarov & Holcomb, som er udviklet inden fremkomsten af moderne platforme og digital infrastruktur som blockchain og cloud computing. Disse teoretiske rammer antager primært lineære forsyningskæder med stabile aktører, hvorimod nutidens forsyningsnetværk i stigende grad er dynamiske, datadrevne og karakteriseret af skiftende aktørrelationer. Derfor kan begreber som integration og agilitet fremstå utilstrækkelige i beskrivelsen af nutidens digitale kompleksitet og muligheder.

For fremtidig forskning betyder disse begrænsninger, at der især er behov for empiriske undersøgelser, som kan validere og kvantificere teknologiens konkrete økonomiske og operationelle effekter, ved at følge virksomheder over længere tid. Ligeledes kan fremtidige studier med fordel fokusere på at udforske synergier mellem forskellige teknologier empirisk, eksempelvis ved at analysere, hvordan kombinationer af AI, blockchain og cloud påvirker forsyningskæden i praksis. Endelig kan agent-baserede simuleringer være en relevant metode til at forstå teknologiernes effekter under forskellige risikoscenarier såsom cyberangreb eller efterspørgselsstød. Sådanne simuleringer kan bidrage med dybere indsigter i de dynamiske interaktioner, der karakteriserer moderne forsyningskæder.

Samlet set kan disse anbefalinger hjælpe med at styrke evidensen bag digitale løsninger i forsyningskæden og samtidig understøtte udviklingen af en opdateret SCRES-teori, som bedre afspejler den nuværende digitale virkelighed. På trods af begrænsninger viser diskussionen, at digitale teknologier kan koble SCM-aktiviteter og SCRES-kapabiliteter, hvilket støtter projektets hovedantagelse

5.3 Konklusion

Formålet med dette projekt har været at undersøge, hvordan anvendelsen af action-orienterede digitale teknologier (AI, blockchain og cloud computing) kan styrke forsyningskædens evne til at identificere, vurdere og håndtere risici, og dermed øge dens samlede resiliens. Gennem en systematisk litteraturgennemgang (kapitel 3) og en tematisk analyse (kapitel 4) er det blevet dokumenteret, at teknologierne komplementerer hinanden og forbedrer risikostyringen. Foreksempel kan AI's realtidsprognoser integreres med blockchain-baserede kontrakter via cloud-løsninger, så automatiske lagerpåfyldninger udløses ved definerede efterspørgselssignaler.

AI-teknologier som demand sensing og predictive analytics understøtter særligt den tidlige identifikation af risici, ved at integrere salgsdata, økonomiske indikatorer og signaler i et samlet efterspørgselssignal (4.1.1). Blockchain bidrager væsentligt til øget transparens og automatisering af transaktioner gennem brug af track-and-trace samt smarte kontrakter, hvilket reducerer opportunisme og styrker samarbejdet på tværs af forsyningskædens aktører (4.1.2). Cloud computing sikrer realtidsintegration og bedre koordinering gennem kontroltårne og åbne API'er, hvilket giver forsyningskæden en mere agil og fleksibel reaktionsevne (4.1.3).

Analysen peger på, at AI-baseret demand sensing kan reducere forecast-fejl, mens blockchain-understøttede smart contracts kan gøre små, hyppige ordrer økonomisk attraktive og dermed kan begrænse order batching. Ledger-gennemsigtighed kan desuden bidrage til mere stabile priser, og den samlede teknologikombination indikerer potentiale for at reducere shortage gaming. Dermed bidrager de aktivt til en lavere amplitude af bullwhip-effekten og øger forsyningskædens stabilitet.

Projektets resultater indikerer også, at implementeringen af disse teknologier understøtter centrale SCRES-kapabiliteter som især agilitet, synlighed og samarbejde (5.1.2). Teknologierne bidrager særligt i forskellige faser: AI primært i forebyggelsesfasen, blockchain i responsfasen og cloud i genopbygningsfasen, omend med betydelige synergier på tværs af faserne (5.1.3).

Fra et økonomistyringsperspektiv antyder analysen, at virksomheder kan opnå reduceret kapitalbinding og kortere cash-to-cash-cyklus ved at implementere teknologierne. Controllerens rolle kan samtidig udvikle sig fra en bagudskuende funktion til proaktiv, realtidsbaseret beslutningsstøtte (5.2.3).

Resultaterne er dog baseret på eksisterende litteratur, og der er derfor behov for yderligere empiriske undersøgelser til at validere de identificerede effekter kvantitativt og i praksis (5.2.4).

Samlet viser projektet, at kombinationen af AI, blockchain og cloud computing kan transformere klassiske supply-chain-udfordringer til datadrevne styrker og øge forsyningskædens generelle modstandsdygtighed betydeligt.

Bilag:

Bilag 1: AI-baseret sparring under opgaveskrivning
Tilgængelig via: https://chatgpt.com/share/683d1e56-ff5c-8003-ad4e-feafcdb2ee1f

Bibliografi

Akram, M. W. et al., 2024. Blockchain technology in a crisis: Advantages, challenges, and lessons learned for enhancing food supply chains during the COVID-19 pandemic. *Journal of Cleaner Production*.

Alkhudary, R., Queiroz, M. M. & Fénies, P., 2024. Mitigating the risk of specific supply chain disruptions through blockchain technology. *Supply Chain Forum: An International Journal*.

An, D. et al., 2022. Navigating global supply networks: a strategic framework for resilience in the apparel industry. *Operations Management Research*.

Anon., 2021. *danskebank.com.* [Online]
Available at: https://danskebank.com/da/news-og-insights/nyhedsarkiv/insights/2021/22022021
[Senest hentet eller vist den 2 06 2025].

Anon., 2021. *The Importance of the Suez Canal to Global Trade Market Report.* [Online]
Available at: https://www.mfat.govt.nz/assets/Trade/MFAT-Market-reports/The-Importance-of-the-Suez-Canal-to-Global-Trade-18-April-2021.pdf

Baryannis, G., Validi, S., Dani, S. & Antoniou, G., 2019. Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research. *International Journal of Production Research*.

Burrel, G. & Morgan, G., 1979. Sociological Paradigms and Organazational Analysis.

Chauhan, C., Akram, M. U., patky, J. & Chauhan, A., 2023. Mapping pathways for building resilient supply chains: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*.

Chopra, S. & Sodhi, M. S., 2004. Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MITSloan Management Review*.

Christopher, M. & Peck, H., 2004. Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*.

Deetz, S., 1996. Describing Differences in Approaches to Organization Science: Rethinking Burrell and Morgan and Their Legacy. *INFORMS*.

Dey, P. K. et al., 2024. Artificial intelligence-driven supply chain resilience in Vietnamese manufacturing small- and medium-sized enterprises. *International Journal of Production Research*.

Forrester, J. W., 1961. Industrial Dynamics. *Cambridge, MA: MIT Press*.

Guo, H., Shen, Z. C. Y. & Dong, M., 2025. Analyzing the impact of government R&D subsidy and digital transformation on supply chain risk dynamics management and firm performance in the China's chip industry. *International Journal of Production Economics*.

Han, Y. & Fang, X., 2023. Systematic review of adopting blockchain in supply chain management: bibliometric analysis and theme discussion. *International Journal of Production Research*.

Hong, L. & Hales, D. N., 2024. How blockchain manages supply chain risks: evidence from Indian manufacturing companies. *The International Journal of Logistics Management*.

Ismail, K., Nikookar, E., Pepper, M. & Stevenson, M., 2025. The implications of Industry 4.0 for managing supply chain disruption and enhancing supply chain resilience: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*.
Ivanov, D., Dolgui, A. & Sokolov, B., 2019. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*.
Kakkuri-Knuuttila, M.-L., Lukka, K. & Kuorikoski, J., 2006. Straddling between paradigms: A naturalistic philosophical case study on interpretive research in management accounting. *Accounting, Organizations and Society*.
Kouvelis, P., 2022. Paradoxes and mysteries in virus-infected supply chains: Hidden bottlenecks, changing consumer behaviors, and other non-usual suspects. *Business Horizons*.
Lee, H. L., Padmanabhan, V. & Whang, S., 1997. Information Distortion in a Supply Chain: The Buliwhip Effect. *Management Science*.
Lee, H. L., Padmanabhan, V. & Whang, S., 1997. The Bullwhip Effect In Supply Chains. *MITSloan Management Review*, Marts.
Lee, N. C.-A., Wang, E. T. & Grover, V., 2020. IOS drivers of manufacturer-supplier flexibility and manufacturer agility. *Journal of Strategic Information Systems*.
Li, X. et al., 2025. End-to-end supply chain resilience management using deep learning, survival analysis, and explainable artificial intelligence. *International Journal of Production Research*.
Li, Y., Chen, K., Colligon, S. & Ivanov, D., 2021. Ripple effect in the supply chain network: Forward and backward disruption propagation, network health and firm vulnerability. *European Journal of Operational Research*.
Lohmer, J., Bugert, N. & Lasch, R., 2020. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. *International Journal of Production Economics*.
Manzoor, R., Sahay, B. S. & Singh, S. K., 2024. Examining the Factors That Facilitate or Hinder the Use of Blockchain Technology to Enhance the Resilience of Supply Chains. *TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*.
Mavi, R. K. & Mavi, N. K., 2022. Innovations in freight transport: a systematic literature evaluation and COVID implications. *The International Journal of Logistics Management*.
McKinsey, 2016. *mckinsey.com.* [Online]
Available at: 02
[Senest hentet eller vist den 06 2025 2016].
Mentzer, J. et al., 2001. *Defining supply chain management*.
Min, H., 2019. Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons*.
Morris, C., 2024. *trinitylogistics.com.* [Online]
Available at: https://trinitylogistics.com/blog/increasing-severe-weather-supply-chain-disruption-are-you-prepared?
[Senest hentet eller vist den 02 06 2025].
Pandey, S., Singh, R. K. & Gunasekaran, A., 2021. Supply chain risks in Industry 4.0 environment: review and analysis framework. *Production Planning & Control*.
Petratos, P. N. & Faccia, A., 2023. *Annals Of Operations Research*.
Ponomorov, S. Y. & Holcomb, M. C., 2009. *International Journal of Logistics Management*.
Pu, W., Ma, S. & Yan, X., 2024. Consumer service level-oriented resilience optimisation for e-commerce supply chain considering hybrid strategies with blockchain adoption. *International Journal of Production Research*.

Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A. & Wamba, S. F., 2022. Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of Operations Research*.
Raetze, S., Duchek, S., Maynard, M. T. & Kirkman, B. L., 2021. Resilience in Organizations: An Integrative Multilevel Review and Editorial Introduction. *Group & Organization Management*.
Riad, M., Naimi, M. & Okar, C., 2024. Enhancing Supply Chain Resilience Through Artificial Intelligence: Developing a Comprehensive Conceptual Framework for AI Implementation and Supply Chain Optimization. *Logistics*.
Schroeder, M. & Lodemann, S., 2021. A Systematic Investigation of the Integration of Machine Learning into Supply Chain Risk Management. *logistics*.
Shaffril, H. A. M., Samsuddin, S. F. & Samah, A. A., 2020. The ABC og systematic literature review: the basic methodologigal guidance for beginners.
Shen, Z. M. & Sun, Y., 2021. Strengtening Supply Chain Resilience during Covid-19: A case study of JD.com. *Journal of Operations Management*.
Smith, A., 2025. *metro.global.* [Online]
Available at: https://metro.global/news/tariffs-complexity-and-opportunity/?utm_source=chatgpt.com
[Senest hentet eller vist den 02 06 2025].
Sutar, P. S., Kolte, G. C. & Yamini, S., 2025. Food supply chain disruptions and its resilience: a framework and review for resilience strategies in the digital era. *Operational Research Society of India 2025*.
Thomson Reuters, 2024. *www.thomsonreuters.com.* [Online]
Available at: https://www.thomsonreuters.com/en-us/posts/tax-and-accounting/rethinking-data-analytics/
Vatrapu, R. & Kazeroonimonfared, A., 2024. Digital Supply Chain Resilience: Analyzing the Literature Using a Topic Modeling Approach. *Internatnional Conference on System Sciences*.
Vieira, A. A. et al., 2020. Supply chain data integration: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*.
Viner, K., 2022. *www.theguardian.com.* [Online]
Available at: https://www.theguardian.com/business/2022/apr/26/ukraine-war-food-energy-prices-world-bank#:~:text=Indermit%20Gill%2C%20a%20World%20Bank,of%20food%2C%20fuel%20and%20fertilisers
Wulf, F. & Lindner, T., 2021. IaaS, PaaS, or SaaS? The Why of Cloud Computing Delivery Model Selection – Vignettes on the Post-Adoption of Cloud Computing. *Hawaii International Conference on System Sciences* .
Wu, L. et al., 2025. Digital technologies and supply chain resilience: a ressouce action perfomance perspective. *Information Systems Frontiers*.