AUTONOM LUFTHAVN

Et illustrativt koncept for Copenhagen Airport (CPH)

4D Digital Airport Twin | Command & Control | Trusted Autonomy



VISION — EN AUTONOM LUFTHAVN

En intelligent, sikker og bæredygtig lufthavn i realtid

Mennesker, data og AI arbejder sammen for en mere effektiv og robust drift



Sans → **Forstå** → **Forudsig** → **Simulér** → **Koordinér** → **Udfør** → **Verificér** → **Lær**

Sans — Indsaml data fra hele lufthavnen

Forstå — Fælles situationsbillede i realtid

Forudsig — Scenarier og konsekvenser

Simulér — Mulige handlinger og effekt

Koordinér — Optimer planer og ressourcer

Udfør — Sikker og effektiv eksekvering

Verificér — Monitorér resultater og afvigelser

Lær — Forbedr kontinuerligt

HVORFOR ÆNDRE?

Lufthavnens udfordringer i en mere kompleks verden

Flere fly, flere passagerer, større kompleksitet og højere forventninger

Flere passagerer
Vedvarende vækst i de kommende år
Øget behov for kapacitet, service og smidigere flow

Flere flybevægelser
Højere trafikintensitet
Flere operationer og kortere turnaround-tider

Større kompleksitet
Flere afhængigheder
Mere uforudsigelig drift og flere samtidige aktiviteter

Mindre buffer
Tættere drift
Mindre tid mellem mange kritiske processer

Højere forventninger
Mere bæredygtig drift
Lavere klimaaftryk og bedre serviceoplevelser



Konsekvenser uden handling

Mere forsinkelser
Længere ventetider og dårligere rejseoplevelse

Ineffektiv ressourceudnyttelse
Tomgang, ventetid og spild

Større risiko
Konflikter, sikkerheds-hændelser og menneskelige fejl

Højere miljøbelastning
Større emissioner og energiforbrug

Utilfredse passagerer
Lavere loyalitet og omdømme

Øgede omkostninger
Pres på drift og investeringer

Derfor er der behov for forandring

En mere intelligent, datadrevet og koordineret lufthavn kan håndtere fremtidens udfordringer — og skabe værdi for passagerer, flyselskaber, medarbejdere og samfundet.

Sikrere
Færre hændelser og højere tryghed

Mere effektiv
Bedre udnyttelse af kapacitet, ressourcer og infrastruktur

Mere bæredygtig
Lavere emissioner og miljøpåvirkning

Passager i centrum
En bedre og mere sammenhængende rejseoplevelse

Mere modstandsdygtig
Hurtigere håndtering af forstyrrelser

BUSINESS CASE — EN AUTONOM LUFTHAVN

Betydelig værdi gennem mere effektiv, sikker og bæredygtig drift

AI, data og autonomi skaber værdi på tværs af hele lufthavnens drift

VÆRDI FOR CENTRALE INTERESSENTER

Passagerer
Bedre rejseoplevelse
og færre forsinkelser

Flyselskaber
Højere punktlighed
og lavere operatromkostninger

Lufthavnsoperatør
Mere effektiv drift
og kapacitetsudnyttelse

Samfund og miljø
Lavere klimaaftryk
og mindre støj

Myndigheder
Højere sikkerhed
og robusthed



EKSEMPEL PÅ VÆRDIPOTENTIALE (5 ÅR)

Område	Initiativer (eksempler)	Mulig effekt (interval)
Kapacitet og flow	• Bedre stand- og gateplanlægning • Realtidskoordinering af ressourcer • Færre flaskehalse	+10 – 25% kapacitetsudnyttelse
Omkostninger	• Mere effektiv ressourceudnyttelse • Mindre tomgang og ventetid • Lavere energiforbrug	–10 – 30% driftsomkostninger
Punktlighed	• Tidlig risikodetektion • Bedre turraround-koordinering • Hurtigere genplanlægning	+5 – 15% on-time performance
Sikkerhed	• Proaktiv overvågning og alarmer • Færre hændelser og konflikter • Bedre compliance	–30 – 60% sikkerhedshændelser
Bæredygtighed	• Optimerede rullemønstre og APU-brug • Mindre brændstofforbrug • Lavere støj	–10 – 25% CO_2-udledning (og støj)
Passageroplevelse	• Færre forsinkelser og køer • Bedre information og forudsigelighed • Mere smidig transfer	+10 – 30% kundetilfredshed

SAMLET POTENTIALE

Højere kapacitet og lavere omkostninger
Gør vækst mulig med
samme eller lavere ressourceforbrug

Mere bæredygtig drift
Lavere klimaaftryk
og mindre støj

Bedre oplevelse for alle
Mere forudsigelig, sikker
og effektiv rejse

INVESTERING OG TILBAGEBETALING

Trinvis implementering
Hurtig værdi i udvalgte use cases
Investering, driftsomkostninger og tilbagebetalingstid fastlægges i discovery.

STRATEGISKE RESULTATER

Sikrere lufthavn | Mere effektiv drift | Lavere klimaaftryk | Højere kundetilfredshed | Mere robust over for forstyrrelser | Stærkere konkurrencekraft

Illustrativt business-case scenarie — ikke forecast.

KPI FRAMEWORK — FRA DRIFT TIL VÆRDI

Målbar effekt på drift, mennesker, samfund og økonomi

Illustrative KPI-værdier — eksempler
Værdier er illustrative og skal valideres med CPH-data

Operationel effektivitet
Højere kapacitetsudnyttelse og mere robust drift

Gate-udnyttelse	~90–95% ▲
Turnaround-tid (reduktion)	~20–40% ▼

Sikkerhed
Færre hændelser og højere sikkerhedsniveau

Sikkerhedshændelser (reduktion)	~50–70% ▼
Runway/taxi incursions (reduktion)	~40–60% ▼

Punktlighed
Mere forudsigelig drift og bedre passageroplevelse

On-time performance (forbedring)	~5–15% ▲
Reaktionstid ved disruption (reduktion)	~30–50% ▼

Bæredygtighed
Lavere klimaaftryk og mere effektiv ressourcebrug

CO_2-udledning (reduktion)	~10–25% ▼
Brændstofforbrug (ground ops) (reduktion)	~15–30% ▼

Passageroplevelse
Kortere ventetid og højere tilfredshed

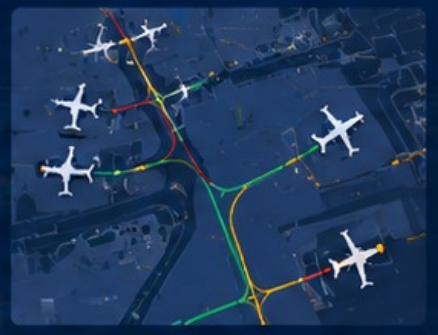
Ventetid i lufthavnen (reduktion)	~10–30% ▼
Passagertilfredshed (forbedring)	~5–15% ▲

Økonomisk værdi
Bedre ressourceudnyttelse og langsigtet konkurrencekraft

Driftsomkostninger (reduktion)	~10–25% ▼
EBITDA-potentiale (forbedring)	~5–15% ▲

REAL-TIME KPI DASHBOARD (eksempel)

CPH Apron — Live



Fly i ground ops	24 (af 78 planlagt)	
Gns. turnaround	38 min	-18%
On-time (afgange)	92%	+6%
Aktive køretøjer	46	
Sikkerhedsalarmer	0	



FRA KPI'ER TIL VÆRDI

Sammenhæng mellem drift, effekt og strategiske mål

Bedre operativ drift — Højere kapacitet og færre forstyrrelser →
Bedre oplevelser — Mere tilfredse passagerer og partnere →
Lavere miljøpåvirkning — Mindre emissioner og ressourceforbrug →
Stærkere økonomi — Lavere omkostninger og højere værdi →
Langsigtet konkurrencekraft — En mere robust og fremtidssikret lufthavn

MÅL OG AMBITIONER (eksempler)

- Sætte nye standarder for sikker, effektiv og bæredygtig drift
- En førende passageroplevelse i Nordeuropa
- Netto-nul ambition i tråd med internationale mål
- Skalérbare løsninger og dokumenteret ROI

PERCEPTION & SENSORFUSION

Fra rå data til et fælles, pålideligt situationsbillede

Flere sensorer, én integreret forståelse af lufthavnens aktiviteter i realtid

Kameraer
Video (RGB)
Objekter, køretøjer, personer

Termiske kameraer
Varmebilleder
Kan se i mørke / dårligt vejr

Radar
Position og hastighed
Robust i al slags vejr

LiDAR
3D punktskyer
Præcis geometri og afstand

ADS-B / ACARS
Flydata
Position, identitet, plan

Jordsensorer
ATC, A-SMGCS, sensornet
Supplerende data



FUSIONERET OBJEKT (EKSEMPEL)

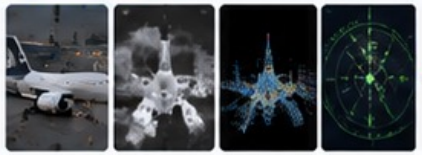


ID	FT-04
Type	Fuel truck
Position (x, y, z)	(124.5, 37.8, 0.0)
Hastighed	12 km/t
Retning	270°
Status	På vej mod Gate A17
Kilde(r)	Kamera + LiDAR + Radar + A-SMGCS
Sikkerhedszoner	Aktiv
Konfidens	0.98

FRA DATA TIL FUSION

Flere datakilder kombineres til ét konsistent og pålideligt situationsbillede i realtid

1. Data
Rå sensordata



2. Detektion
Find objekter



3. Klassifikation
Hvad er det?



4. Tracking
Følg over tid



5. Lokalisering
Præcis position (3D)



6. Fusion
Ét samlet billede



4D DIGITAL AIRPORT TWIN

En levende, databaseret model af hele lufthavnen

Real-time data, simulation og AI skaber fælles situationsforståelse og bedre beslutninger — fra gate til runway

Real-time Aktuel situation | **4D** Rum + tid | **AI & simulation** Forudsig og test | **Fælles overblik** Koordinér på tværs

REAL-TIME SITUATION

Fly
SK521
CPH → ARN
Gate A17

Køretøjer
FT-04, TUG-042, PB-08, CT-03, GPU-01...
42 aktive

Personer
Ground crew, teknikere, passagerer
128 i området

Infrastruktur
Taxiways, gates, stande
Normal drift

Vejr
8 °C, let skyet
Vind 4 m/s
God sigtbarhed



4D VISUALISERING

SIMULERING & SCENARIER

Turnaround scenarier
Test alternative sekvenser og ressourceallokering

Forstyrrelser
Vejr, forsinkelser, udstyrssvigt — og håndtering

Kapacitetsanalyse
Flaskehalse og optimering

Ressourceplanlægning
Personale, gates, udstyr og energiforbrug

FORUDSET EFFEKT

- Kortere turnaround-tid
- Bedre ressourceudnyttelse
- Højere driftssikkerhed
- Lavere CO_2-udledning
- Bedre passageroplevelse

DETAILVISNING — GATE A17



TIDSFORLØB — SK521 TURNAROUND (EKSEMPEL)

-30 min	-20 min	-15 min	-10 min	-8 min	-5 min	-3 min	0 min	+12 min
Ankomst	Parkering	Sikkerhedstjek	Fuel (FT-04)	Catering (CT-03)	Cleaning	Boarding (PB-08)	Pushback (TUG-042)	Afgang

FRA FYSISK DRIFT TIL FORRETNINGSVÆRDI

Én sammenhængende Airport Twin forbinder operationel og forretningsmæssig tilstand

Bedre beslutninger
Sikrere drift
Mere værdi

FYSISK / OPERATIONEL TILSTAND

Real-time data fra lufthavnens drift

- **Fly** — Positioner, turnarounds, status
- **Køretøjer** — Tugs, busser, fuel, catering, biler
- **Mennesker** — Passagerer, medarbejdere, crew
- **Infrastruktur** — Terminaler, gates, baner, lys, sensorer
- **Vejr og miljø** — Vejr, støj, emissioner

Data (i realtid) →
← Hændelser og situationer

FÆLLES AIRPORT TWIN

Integrerer fysisk, operationel og forretningsmæssig tilstand



Fælles datamodel | Situations-forståelse | Simulation & scenarier | AI og analyser | Decision support

Én sandhedskilde – på tværs af domæner

Forretnings-data (nær realtid) →
← Indsigt og anbefalinger

FORRETNINGSMÆSSIG TILSTAND

Data fra interne systemer og processer

- **Økonomi** — Budget, omkostninger, indtægter, ROI
- **Planlægning** — Kapacitet, ressourcer, slots, bemanding
- **Medarbejdere** — Vagtplaner, kompetencer, tilgængelighed
- **Vedligehold** — Aktiver, service, reservedele
- **Indkøb og leverandører** — Kontrakter, SLA'er, lager
- **Kunder og performance** — Passagerflow, service, tilfredshed, KPI'er

FRA DATA TIL HANDLING

En kontinuerlig, lærende lukket loop

1. **OBSERVÉR** — Saml og integrér data fra alle kilder
2. **FORSTÅ** — Fælles situationsforståelse
3. **FORUDSIG** — Simulér scenarier og konsekvenser
4. **ANBEFAL** — Beslutningsstøtte til rette aktører
5. **GODKEND** — Menneske-i-løkken og governance
6. **UDFØR** — Koordineret handling på tværs af systemer
7. **EVALUÉR** — Mål effekt og lær

Kontinuerlig læring og forbedring

Sikrere drift
Færre hændelser og højere robusthed

Mere effektiv drift
Bedre ressourceudnyttelse og kortere turnarounds

Lavere omkostninger
Optimeret planlægning og mindre spild

Større forretningsværdi
Tilfredse passagerer og bæredygtig vækst

GROUND TRAFFIC MANAGEMENT

Sikker, effektiv og koordineret bevægelse på forpladsen

AI-baseret detektion, forudsigelse og koordinering af alle køretøjer, fly og personer i realtid

Realtid Live overblik | **Sikker drift** Forebygger konflikter | **Effektivitet** Bedre udnyttelse | **Bæredygtighed** Mindre tomkørsel



NØGLETAL (ILLUSTRATIVE)

- Færre konflikter: **–40 – 70%** (illustrativt)
- Kortere responstid: **–30 – 60%** (illustrativt)
- Højere kapacitetsudnyttelse: **+10 – 25%** (illustrativt)
- Mindre brændstofforbrug: **–10 – 20%** (illustrativt)

EKSEMPEL: KONFLIKT HÅNDTERET I REALTID

1. **Normal drift** T - 00:40 — TUG-042 kører mod A17. PB-08 nærmer sig fra højre.
2. **Konflikt detekteret** T - 00:20 — Systemet forudser konflikt om 20 sekunder. PB-08 bedes holde tilbage.
3. **PB-08 viger** T - 00:00 — PB-08 stopper og venter. TUG-042 fortsætter.
4. **Konflikt afklaret** T + 00:20 — TUG-042 passerer sikkert. Systemet frigiver PB-08.
5. **Drift fortsætter** T + 00:40 — PB-08 fortsætter ad sin rute. Normal drift genoptages.

C2/ATC INTEGRATION

- Koordineret med flybevægelser
- Understøtter ATC og apron control
- Prioritering af sikkerhedskøretøjer
- Dynamisk omdirigering ved ændringer
- Logning og analyse af hændelser

STRATEGISK VÆRDI

Højere sikkerhed | Mere effektiv drift | Lavere klimaaftryk | Bedre passageroplevelse | Stærkere økonomi

Illustrative resultater — skal valideres med CPH-data

AIRCRAFT TURNAROUND — GATE A17

Hurtigere, sikrere og mere forudsigelig turnaround

AI-koordineret planlægning og realtidsstyring af alle aktiviteter på gate

Real-time overblik — Aktuel status (illustrativ)
Synkroniserede teams — Mennesker og køretøjer
Højere produktivitet — Kortere turnaround-tid
Lavere miljøpåvirkning — Mindre brændstof og støj



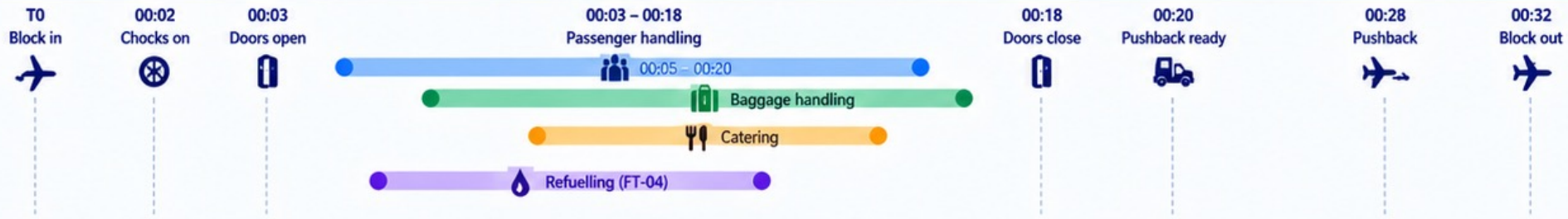
NØGLEINFO — SK521 (EKSEMPEL)

Rute	CPH → ARN
Flytype	A320neo
Planlagt ankomst	10:15
Planlagt afgang	10:47
Turnaround target	32 min

RESSOURCER (EKSEMPEL)

Ground crew	12
Køretøjer i alt	6
Fuel truck (FT-04)	1
Baggage loader (BL-12)	2
Catering truck (CT-03)	1
Passenger bus (PB-08)	1
Pushback tug (TUG-042)	1

TURNAROUND-FORLØB — SK521 PÅ GATE A17 (TARGET 32 MIN)



KPI'ER (ILLUSTRATIVE)

Turnaround-tid	–20 – 40%
Udnyttelse af gate	+10 – 25%
Sikkerhedshændelser	–30 – 60%
Brændstofforbrug (AUX)	–10 – 25%
Passagertilfredshed	+5 – 15%

STRATEGISK VÆRDI

Hurtigere turnaround | Højere kapacitetsudnyttelse | Sikrere drift | Lavere klimaaftryk | Bedre passageroplevelse | Stærkere økonomi

Illustrative værdier — skal valideres med CPH-data

DISRUPTION → SIMULATION → RECOVERY

Fra hændelse til robust drift — hurtigere, bedre beslutninger, mindre påvirkning

AI-drevet detektion, scenariesimulering og koordineret genopretning på tværs af hele lufthavnen

Illustrativt scenarie
Værdier og tidslinjer er eksempler — valideres med CPH-data

1 Hændelse — T + 00:00
Uventet forstyrrelse



- Kraftig torden og lav sigtbarhed
- Start-/landinger reduceres
- Flere fly omdirigeres
- Risiko for knock-on effekter

Vejrforringelse
Kapacitet reduceret
T + 00:00

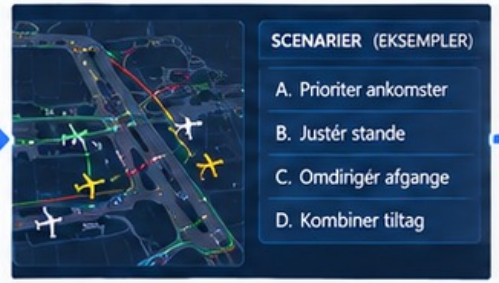
2 Analyse — T + 00:05
Real-time situation



- Sensorfusion og real-time data
- AI detekterer og vurderer påvirkning
- Estimeret varighed og omfang
- Identificerer kritiske flaskehalse

Situationsbillede
Opdateres løbende
T + 00:05

3 Simulering — T + 00:10
Flere scenarier



- Digital twin simulerer scenarier
- Vurderer kapacitet, køer og ressourcer
- Beregner konsekvenser (tid, omkostning, CO_2)
- Foreslår anbefalet handlingsplan

Anbefalet plan
Scenarie B (eksempel)
T + 00:10

4 Koordinering — T + 00:15
Beslut og eksekvér



- Koordiner med ATC, handlers og partnere
- Tildel stande og rérrout køretøjer
- Informér passagerer og besætninger
- Automatisk eksekvering af godkendte tiltag

Tiltag eksekveres
På tværs af aktører
T + 00:15

5 Genopretning — T + 01:00
Stabil drift



- Gradvis normalisering af drift
- Afvikling af restkøer
- Overvågning af stabilitet
- Læring og opdatering af modeller

Drift stabiliseret
Tilbage mod normal drift
T + 01:00

Digital Airport Twin
Fælles situationsforståelse og beslutningsstøtte



- **Real-time data** (sensorer, fly, køretøjer, vejr)
- **AI & simulering** (scenarier og konsekvenser)
- **Koordinering** (ATC, ground, airlines, security)
- **Eksekvering** (systemer og arbejdsgange)

Scenarieeksempler (illustrative)

Scenarie	Fokus	Forventet effekt
A	Prioriter ankomster	Kortere forsinkelser
B	Justér stande	Bedre kapacitetsudnyttelse
C	Omdirigér afgange	Færre aflysninger
D	Kombinerede tiltag	Mest robust drift

Potentiel effekt (illustrativ)

Kortere genopretningstid	Færre aflysninger	Lavere ekstra CO_2-udledning	Bedre passageroplevelse
~20–50% (illustrativt)	~10–30% (illustrativt)	~10–25% (illustrativt)	~10–30% (illustrativt)

STRATEGISK VÆRDI | Mere robust lufthavnsdrift | Højere ressourceudnyttelse | Lavere miljøpåvirkning | Bedre passageroplevelse | Stærkere økonomi

Illustrative resultater — skal valideres med CPH-data

DEN AUTONOME LUFTHAVN — ET FEDERERET SYSTEM AF SYSTEMER

Mange selvstændige aktører · fælles situationsforståelse · koordineret handling

Tusindvis af medarbejdere
på tværs af organisationer, roller og vagter

Sammen skaber de en sikker, effektiv og bæredygtig lufthavn i verdensklasse.

FÆLLES KOORDINATIONSLAG
4D Digital Airport Twin



- Simulation & scenarier
- Airport Command & Control (C2)
- Fælles situations-forståelse
- Koordinering & beslutningsstøtte

Koordinér på tværs — bevar lokalt ansvar.

Erstatter ikke aktørernes myndighed, ansvar eller eksisterende systemer.

Airport Operator

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Airlines

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Naviair / ATC

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Landside Transport

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Ground Handlers

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Retail & Hospitality

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Baggage

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Sikkerhed (Security)


Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Catering

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Grænse- og myndigheder (Border / Authorities)

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Maintenance

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

Fuel

Egen governance
Egne systemer/data
Fælles interfaces

POLITICAL
Politiske beslutninger, geopolitik og stabilitet

LEGAL
Lovgivning, regulering og compliance

ENVIRONMENTAL
Klima, miljøkrav og ressourceforbrug

ECONOMIC
Økonomisk udvikling, markedsforhold og investeringer

SOCIAL
Passagerforventninger, arbejdsmarked og samfund

TECHNOLOGICAL
Teknologisk udvikling, innovation og cybersikkerhed

CPH's DIGITALE FUNDAMENT

Integrér · Byg videre · Erstat ikke

Én sammenhængende platform, der forbinder eksisterende systemer, en digital lufthavnstvilling og AI — fra indsigt til handling

Integrér — Saml og del data på tværs

Byg videre — Udnyt eksisterende investeringer

Erstat ikke — Supplér og forstærk

1 EKSISTERENDE SYSTEMER
Stærke byggesten i dag

- **AIRHART** — Flydata, flight plan, sporing
- **A-CDM** — Samarbejde og turnaround
- **A-SMGCS** — Overfladebevægelser
- **ATC-systemer** — Luftrum og trafikstyring
- **Baggage systems** — Bagagehåndtering
- **Ressourceplanlægning** — Personale og udstyr
- **Vejr & miljødata** — MET, vind, sigt, støj
- **Øvrige systemer** — F.eks. security, energi, bygninger

2 INTEGRATIONSLAG
Sikker og skalerbar dataadgang

- **API'er og event streams** — Real-time og batch
- **Datastandarder** — (AIDX, IATA, Eurocontrol m.fl.)
- **Data governance** — Kvalitet, sikkerhed, adgang
- **Semantisk datalag** — Fælles datamodel
- **Streaming & beskedkøer** — Lav latenstid, høj robusthed
- **Legacy-integration** — Adaptere, ikke udskiftning

3 DIGITAL LUFTHAVNSTVILLING
Fælles situationsforståelse



- **Real-time datafusion** — Fly, køretøjer, personer, vejr
- **4D-model (rum + tid)** — Aktuel og forudset situation
- **Fælles operationsbillede** — Tværs af aktører

4 AI & SIMULATION
Fra data til handlemuligheder



- **AI-drevet analyse** — Detektion, forudsigelse, anbefalinger
- **Scenariesimulering** — Kapacitet, køer, ressourcer
- **Optimering** — Turnaround, stande, ruter
- **Beslutningsstøtte** — Forklarlige anbefalinger

5 KOMMANDO & KONTROL
Koordinér på tværs



- **Fælles operationsbillede** — Luftside, landside, terminal
- **Tværgående koordinering** — ATC, handlers, sikkerhed m.fl.
- **Hændelseshåndtering** — Procedurer og playbooks
- **Kommunikation** — Klare, rettidige beskeder
- **Beslutning og godkendelse** — Menneske i loop (HITL)

6 UDFØRELSE
Handling i den virkelige verden



- **Flyoperationer** — Start, landing, taxi



- **Køretøjer** — Pushback, fuel, catering, baggage



- **Gate & terminal** — Turnaround, passagerflow



- **Ressourcer** — Personale, udstyr, stande



- **Bæredygtig drift** — Mindre brændstof, støj og emissioner

FÆLLES INFRASTRUKTUR

- **Cloud / hybrid** — Sikker og skalerbar
- **Data lake / warehouse** — Historik og analyse
- **Sikkerhed** — Identity, adgang, logning
- **Drift & overvågning** — Høj tilgængelighed
- **Åbne standarder** — Samarbejde med partnere

STYRING & FORANDRING

- **Organisation** — Roller og ansvar
- **Politikker & compliance** — Sikkerhed, GDPR, luftfartsregulering
- **Kompetencer** — Træning og adoption
- **Løbende forbedring** — Mål, evaluering, skalering



Samme systemer. Større værdi.

Et åbent, sikkert og fremtidssikret fundament for en mere effektiv, robust og bæredygtig lufthavn.

VHL REFERENCEARKITEKTUR — DEN AUTONOME LUFTHAVN

Fra data til handling — et samlet, skalerbart og robust arbust arkitekturgrundlag

8 systemlag | 6 engineering-elementer | 10 trin i Autonomous Operating Loop | 480 adresserbare celler

"En fælles arkitektur for en sikrere, mere effektiv og bæredygtig drift."

Fra data til bedre beslutninger for passagerer, flyselskaber, samfund og miljø.



V – SYSTEMLAG (8)

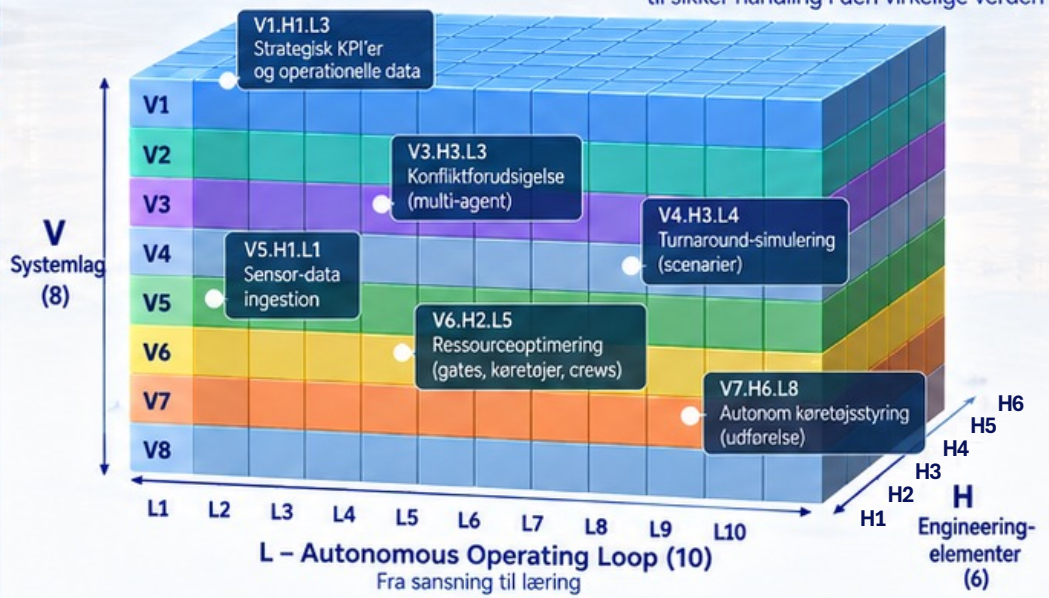
Fra strategi til fysisk virkelighed

V1	**Mission & Airport Operations**	Mål, KPI'er, service og passageroplevelse
V2	**Command & Control**	Beslutningsoverblik og koordinering
V3	**Decision Intelligence / AI Agents**	Analyse, anbefalinger og autonome agenter
V4	**Digital Twin & Simulation**	Virtuel lufthavn, scenarier og konsekvensanalyse
V5	**Perception & World Model**	Sensorer, datafusion og fælles situationsbillede
V6	**Planning & Multi-Object Coordination**	Ressourceplanlægning og konfliktløsning
V7	**Real-Time Control**	Styring, overvågning og sikkerhedsnet
V8	**Physical Airport System**	Fly, køretøjer, infrastruktur, bygninger og mennesker

VHL MODELLEN

8 × 6 × 10 = 480 adresserbare celler

Et sammenhængende system — fra data til bedre beslutninger til sikker handling i den virkelige verden



H – ENGINEERING-ELEMENTER (6)

Hvad indeholder hvert lag?

H1	**Inputs & Data**	Datakilder, real-time streams, eksterne data
H2	**Core Capabilities**	Funktioner og kernekapaciteter
H3	**Models & Algorithms**	AI/ML-modeller, simulering, optimering
H4	**Software & Platforms**	Systemer, platforme, infrastruktur
H5	**Outputs & State**	Beslutningsforslag, planer, systemtilstand
H6	**Execution & Interfaces**	Integrationer, kontrolgrænseflader, fysiske enheder

L – AUTONOMOUS OPERATING LOOP (10)

Fra situation til læring — kontinuerlig forbedring

1 Sansning → 2 Forståelse → 3 Forudsigelse → 4 Simulering → 5 Planlægning → 6 Beslutning → 7 Godkendelse → 8 Udførelse → 9 Verifikation → 10 Læring

EKSEMPLER PÅ VHL-CELLER

V5.H1.L1 – Sensor-data ingestion



- Kameraer, radar, ADS-B, LiDAR
- Vejr, positioner, sensorer
- Real-time datastrøms

V5.H2.L2 – Sensor fusion / world model



- Fusion af multi-sensor data
- Fælles situationsbillede
- Semantisk forståelse

V3.H3.L3 – Konfliktforudsigelse



- Forudsigelse af konflikter
- Multi-agent analyse
- Anbefalinger i realtid

V4.H3.L4 – Turnaround-simulering



- Scenarier for turnaround
- Ressourcebehov og flaskehalse
- Hvad-nu-hvis analyse

V6.H2.L5 – Ressourceoptimering



- Optimal tildeling af gates, køretøjer, crews
- Mindre ventetid og tomkørssel
- Understøtter bæredygtighed

V7.H6.L8 – Autonom udførelse



- Styring af autonome køretøjer
- Sikkerhedsnet og overvågning
- Integration til fysiske enheder

FORDELE VED VHL-ARKITEKTUREN

- ✓ Fælles sprog på tværs af domæner
- ✓ Skalerbar og modulær
- ✓ Kobler strategi, drift og teknologi
- ✓ Understøtter sikker og ansvarlig AI
- ✓ Gør kompleksitet håndterbar
- ✓ Muliggør kontinuerlig forbedring

SAMME SYSTEMER. STØRRE VÆRDI.

- Bevar eksisterende investeringer
- Integrér og skab nye muligheder
- Udnyt data smartere med AI og simulering
- Styrk samarbejde på tværs
- En mere sikker, effektiv og bæredygtig lufthavn

TRUSTED AUTONOMY

Mennesker i kontrol – sikker, ansvarlig og værdiskabende autonomi

Lagvis arkitektur der kombinerer menneskelig dømmekraft, regler, AI og sikker drift

Sikkerhed Mennesker først | **Compliance** Følg reglerne | **Ansvarlig AI** Gennemsigtighed | **Bæredygtig drift** Langsigtet værdi

1 Human authority
Menneskelig beslutningskraft
Overordnet ansvar, godkender kritiske beslutninger, kan altid overtage.

2 Rules & regulation
Regler og regulering
Love, myndighedskrav, procedurer og etiske retningslinjer.

3 Command & Control (C2)
Koordinering på tværs
Fælles situationsbillede, prioritering af ressourcer, konfliktløsning.

4 AI agents / bounded autonomy
AI-agenter med definerede rammer
Planlægger, foreslår og eksekverer inden for godkendte grænser.

5 Local safety control
Lokal sikkerhedskontrol
Realtids overvågning, fail-safe, nødstop og sikkerhedsbarrierer.

6 Physical execution
Fysisk eksekvering
Køretøjer, udstyr og infrastruktur udfører handlinger i den virkelige verden.



Strategi, beslutning, ansvar

Love, krav og procedurer

Fælles situational awareness og koordinering

AI-agenter planlægger, forslår og udfører

Realtidsovervågning, fail-safe og nødstop

Sikker eksekvering i den virkelige verden

PRINCIPPER

- **Safety first** — Ingen kompromis med sikkerhed
- **Human-in-the-loop** — Mennesker bevarer kontrol og ansvar
- **Compliant by design** — Indbygget overholdelse af regler
- **Transparent og forklarbar** — Sporbarhed og audit
- **Robust og sikker** — Fail-safe og kontrollerede grænser
- **Skaber reel værdi** — Højere effektivitet og bedre oplevelse

EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE

- **Taxi og pushback** — AI-agenter planlægger ruter, C2 godkender
- **Turnaround** — Koordineret og sikker eksekvering
- **Gate- og stand-allokering** — Simulation og optimering
- **Hændelseshåndtering** — Hurtig omdirigering og recovery
- **Emissioner og energi** — AI-optimeret, mere bæredygtig drift

Ansvarlig autonomi skaber et mere effektivt, sikkert og bæredygtigt lufthavnsøkosystem.

IMPLEMENTERING I FASER

Fra indsigt til værdi — trinvis, sikker og skalérbar implementering

En praktisk tilgang, der bygger videre på det eksisterende, skaber tidlig værdi og muliggør gradvis øget autonomi

Trinvis værdi — Synlige resultater
Sikker implementering — Kontrol og compliance
Sammen om succes — Mennesker og teknologi
Skalérbar — Klar til fremtiden

1 Overblik

Skab indsigt og fælles billede

0 – 6 mdr.



- Integrér eksisterende data og systemer
- Real-time situationsbillede
- Baseline for drift, kapacitet og miljø
- Identificér forbedringsmuligheder

Resultat
Fælles, datadrevet overblik

2 Forudsigelse

Forstå, hvad der kommer

6 – 12 mdr.



- AI-baseret efterspørgselsprognose
- Tidlig varsling af hændelser
- Scenariesimulering og kapacitetsanalyse
- Beslutningsstøtte til planlægning

Resultat
Bedre forudsigelser og proaktiv planlægning

3 Koordinering

Optimer på tværs

12 – 24 mdr.



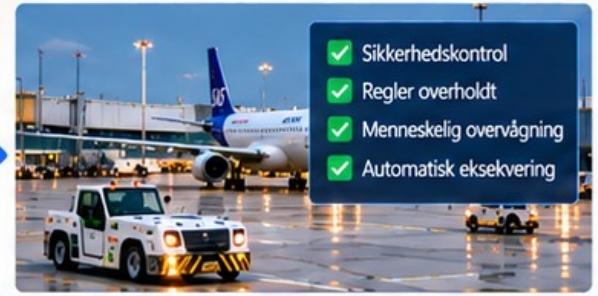
- Tværgående planlægning og styring
- Optimering af ressourcer (stande, køretøjer, mandskab)
- Dynamisk omdisponering ved ændringer
- Integration med A-CDM, A-SMGCS m.fl.

Resultat
Mere effektiv drift og bedre ressourceudnyttelse

4 Afgrænset autonomi

Under opsyn og med klare rammer

24 – 36+ mdr.



- Gradvis introduktion af autonome funktioner
- Menneske-i-løkken og klare styringsrammer
- Kontinuerlig evaluering af effekt og sikkerhed
- Skalering til flere operationer

Resultat
Sikker og værdiskabende autonomi

VÆRDI GENNEM HELE REJSEN

- **Højere effektivitet** — Bedre udnyttelse af kapacitet
- **Øget sikkerhed** — Færre hændelser
- **Lavere miljøpåvirkning** — Mindre brændstofforbrug og CO_2
- **Bedre passageroplevelse** — Mere pålidelig og forudsigelig rejse
- **Stærkere økonomi** — Trinvis og målbar værdi

Tidsrammer er illustrative
Den faktiske tidsplan afhænger af scope, modenhed, godkendelser og ressourcer.



PILOT / PROOF OF VALUE

Fra idé til dokumenteret værdi — i en realistisk og afgrænset pilot

Test i drift, lær hurtigt, skab grundlag for skalering

Pragmatisk — Små skridt, reel læring

Sikkert — Kontrolleret scope og risikostyring

Sammen — CPH, operatører og partnere

Skalérbart — Fra pilot til bred udrulning

KPI-targets er pilotmål / illustrative og ikke målte resultater.

1 Pilotområde

Et konkret og afgrænset use case



- Turnaround på Gate A17 (SK521)
- Koordineret trafik for TUG-042, FT-04, PB-08, PG-17
- AI-baseret overvågning og konfliktforebyggelse
- Integration med A-CDM og A-SMGCS (read-only i første fase)
- Menneske i loop og operative godkendelser

Lokation
Gate A17, Terminal 3

Pilotdrift
3 - 6 måneder

2 Løsning

Kombinerer eksisterende systemer med AI

Sensorer & data
Radar, kamera, ADS-B, A-CDM, A-SMGCS

AI & sensorfusion
Detektion, sporing, konfliktanalyse

Beslutningsstøtte
Anbefalinger og alarmer til operatører

Operatørinterface
Fælles situationsbillede og klar kommunikation

Integration
Read-only i pilot (senere write med governance)

Scope (pilot)

- Ét gate-område (A17)
- Udvalgte køretøjer og arbejdsgange
- Realtidsmonitorering og alarmer
- Evaluering af effekt og driftserfaringer

3 Forventet værdi

Illustrative effekter i pilotfasen

Kortere turnaroundtid	~10–20%	(pilotmål / illustrativt)
Færre konflikter / nærved-hændelser	~30–50%	(pilotmål / illustrativt)
Lavere brændstofforbrug (ground)	~5–10%	(pilotmål / illustrativt)
Bedre ressourceudnyttelse	~10–25%	(pilotmål / illustrativt)
Højere forudsigelighed	~20–40%	(pilotmål / illustrativt)
Højere operatør- og passagertilfredshed	~10–20%	(pilotmål / illustrativt)

4 Beslutning

Efter pilot evalueres og besluttes næste skridt

Skalér
Udvid til flere gates og operationer, integrer dybere

Justér
Optimer løsning, scope og governance

Stop
Afslut eller omprioritér

Kriterier for beslutning

- Opnåelse af pilotmål (illustrative)
- Driftssikkerhed og sikkerhedsniveau
- Operatører og stakeholder feedback
- Omkostninger og skalerbarhed
- Klar plan for næste fase

Tidslinje (eksempel) — samlet forløb ca. 7–8 måneder

Forberedelse	Implementering	Drift i pilot	Evaluering	Beslutning
0–1 måned	1–2 måneder	3–6 måneder	6–7 måneder	7–8 måneder

Succeskriterier (pilot)

- **Sikker drift** — Ingen alvorlige hændelser
- **Operatøraccept** — Positiv feedback
- **Datakvalitet** — Stabil og pålidelig
- **Læringsgrundlag** — Klar anbefaling til næste fase



Små piloter. Store muligheder.
Dokumentér værdi, før vi skalerer.

Næste skridt — Start pilotforberedelsen

Fra fælles mål til konkret pilotdesign

Vi foreslår en struktureret discovery- og pilotfase, der skaber hurtig læring, lav risiko og et solidt grundlag for skalering.

Hurtig værdi — Fra idé til drift

Lav risiko — Trinvis og kontrolleret

Sammen om succes — CPH, operatører og partnere

Skalerbar — Designet til bred udrulning

1 Discovery

Afklar behov og scope

2–4 uger



- Workshops med relevante stakeholders
- Prioritering af use cases (fx Gate A17)
- Data- og systemlandskab
- Krav, succeskriterier og governance
- Afklaring af roller og samarbejde

Leverance
Discovery-rapport og pilotscope

2 Pilotdesign

Detaljeret plan og opsætning

4–8 uger



- Løsningsdesign og arkitektur
- Integrationer og dataadgang
- Opsætning af AI-modeller og simulation
- Sikkerhed, compliance og risikostyring
- Plan for test, træning og drift

Leverance
Pilotplan, teknisk opsætning og testplan

3 Implementering

Test i operativt miljø

2–3 måneder



- Idriftsættelse på Gate A17 (pilot)
- Test af funktionalitet og ydeevne
- Monitorering, alarmer og support
- Løbende evaluering og justering
- Involvering af operatører og brugere

Leverance
Pilotresultater og evalueringsrapport

4 Evaluering og beslutning

Læring og næste skridt

2–4 uger



- Vurdering af effekt ift. succeskriterier
- Erfaringer, læringspunkter og anbefalinger
- Business case for skalering
- Beslutning om næste fase
- Plan for videre udrulning (gate(s) / lufthavn)

Leverance
Beslutningsoplæg og skaleringsplan

Skal vi igangsætte discovery og pilotdesign?

Sammen kan vi skabe en sikrere, mere effektiv og bæredygtig lufthavn – trin for trin.

Skalér
Til flere gates og operationer

Justér
Baseret på resultater og læring

Stop
Hvis værdien ikke kan realiseres

FORVENTET VÆRDI (ILLUSTRATIVT)

Mere effektiv drift
Kortere turnaround-tid

Lavere miljøpåvirkning
Mindre brændstofforbrug

Bedre passageroplevelse
Højere punktlighed

Stærkere beslutningsgrundlag
Data-drevet og skalerbar

Tidsrammer, effekter og KPI'er er illustrative og afhænger af scope, nuværende systemer og ressourcer.



Fra pilot til varig værdi.
Sammen om fremtidens lufthavn.

TAK

SPØRGSMÅL?

Fra vision til dokumenteret operationel værdi



APPENDIX A — KILDER, ANTAGELSER & DATAGRUNDLAG

Dokumenteret fundament for AIRHART, A-CDM, A-SMGCS og de illustrative scenarier i præsentationen

1 KILDER — CPH & DIGITALT FUNDAMENT

Offentligt tilgængelige kilder om AIRHART og CPH's digitale udvikling.

CPH 2023
Copenhagen Airport, 22. juni 2023
AIRHART lanceret som en realtids data-platform, der forbinder og sammenstiller data fra mere end 100 systemer. Den erstattede en stor del af den tidligere AODB og introducerede en Airport Operations Plan / total-airport-management kapabilitet.

CPH 2023
Copenhagen Airports Annual Report 2023
AIRHART understøtter effektiv planlægning og eksekvering af daglige operationer og indgår i CPH's digitale/data-drevne lufthavnsstrategi.

CPH 2026
Copenhagen Airport, 21. august 2026
AIRHART beskrevet som velintegreret og vigtig for effektiv drift i lufthavnen.

2 STANDARDER & OPERATIONELLE REFERENCER

Internationale standarder og referencekilder for A-CDM og A-SMGCS.

EUROCONTROL 2025
A-CDM Specification, 30. januar 2025
Collaborative decision making forbedrer effektivitet, forudsigelighed og punktlighed. Understøtter især turnaround og pre-departure processer gennem operationelle milepæle (milestones).

EUROCONTROL (A-SMGCS)
A-SMGCS Overview
A-SMGCS leverer overvågning, safety support, routing og guidance services for fly og køretøjer på manøvreområdet.

EUROCONTROL (Danmark / LSSIP)
LSSIP Denmark
Copenhagen Airport havde et A-SMGCS standardiseringsprojekt, der understøtter avancerede funktioner og fremtidig kapacitet.

3 ANTAGELSER I DENNE DECK

Hvad der er faktuelt, og hvad der er illustrative eksempler.

Illustrative værdier
KPI-, business case-, disruption- og pilot-værdier er illustrative eksempler, medmindre de eksplicit er kildehenvist.

VHL referencearkitektur
VHL er en DeepAIMind konceptuel referencearkitektur til strukturering af autonome fysiske systemer.

4D og scenarier
4D betyder X, Y, Z + tid. Eksempler som Gate A17, SK521, FT-04, TUG-042, PB-08 og PG-17 er illustrative operationelle scenarier.

Business case
Business case-tal er ikke prognoser og skal valideres med lufthavnsspecifikke data og forudsætninger.

4 AFGRÆNSNING & DISCLAIMER

Hvad præsentationen er — og ikke er.

Illustrativ præsentation
Dette er en illustrativ konceptpræsentation og ikke en officiel publikation fra Copenhagen Airport.

Ingen tilkendegivelse fra CPH
Der er ikke tale om, og der kan ikke udledes, en tilkendegivelse, partnerskab eller godkendelse fra Copenhagen Airport.

Ingen CPH logoer
Der anvendes ikke CPH logoer eller andre officielle varemærker i denne præsentation.

Tredjepartsnavne
Navne på tredjepartssystemer og standarder er nævnt beskrivende med henblik på faglig kontekst.

EKSEMPLER PÅ KPI-DEFINITIONER (ILLUSTRATIVE)

OTP (On-time performance)
Andel afgange/ankomster inden for defineret tidsvindue (fx ±15 min).

Turnaround time
Tid fra block-in til block-out.

Safety events
Definerede operationelle hændelser eller nærved-hændelser.

Capacity utilisation
Udnyttelse af standpladser, gates og ressourcer.

Passenger experience
Udvalgte tilfredsheds- og servicemetrikker (fx ventetid, flow, service).



DIGITAL BUSINESS TWIN FOR DEN AUTONOME LUFTHAVN

Fra data til indsigt, beslutning og handling – i samspil med eksisterende systemer

Én samlet, levende forretningsmodel der forbinder drift, økonomi, mennesker og fysiske operationer

DATAKILDER

Fysiske operationer
Sensorer, IoT, radar, AODB, ASMGCS, video, vejr, kapacitet

Forretningssystemer
ERP (økonomi, indkøb, lager), HR, planlægning, vedligehold

Kunder og partnere
Passagerer, flyselskaber, ground handlers, leverandører, myndigheder

Eksterne datakilder
Vejr, lufttrafik, markeder, energi, geopolitiske forhold

DIGITAL BUSINESS TWIN

Integreret model af lufthavnens drift, økonomi og værdikæde

1. DATAFEDERATION
- Indtag og integration
- Datakvalitet og governance
- Fælles semantisk model
- Sikker og skalerbar platform

2. ENTERPRISE MODEL
- Fælles datamodel (virksomhed, drift, aktiver)
- Sammenhæng på tværs af domæner
- Historik og realtid
- Scenariesandbox



Finansiel twin
Økonomi, omkostninger, indtægter, investeringer

Operationel twin
Kapacitet, ressourcer, flows, robusthed

Aktiv twin
Bygninger, udstyr, vedligehold, levetid

Organisatorisk twin
Personale, kompetencer, planer, produktivitet

Fælles situationsforståelse · Simulation · AI/Optimering · Beslutningsstøtte

Koordinér på tværs — bevar lokalt ansvar
Twinnet supplerer, ikke erstatter, aktørernes egne systemer og myndighedsansvar

3. ANALYSE OG SIMULERING
- Hvad hvis? scenarier
- Kapacitets- og flaskehalsanalyse
- Risiko og robusthed
- Optimering (ressourcer, planer, energi, CO_2)

4. BESLUTNINGSSTØTTE
- Anbefalinger og alternativer
- Visualisering og KPI'er
- Vurdering af konsekvenser på tværs af domæner
- Human-in-the-loop

OUTPUTS & INTEGRATION

- Operationelle anbefalinger
- KPI'er og dashboards
- Alarmer og tidlige varsler
- Scenarieanalyser og planer
- Rapporter og dokumentation
- Integration til eksterne partnere og myndigheder

BRUGERE

- Lufthavnsoperatør
- Flyselskaber
- Naviair / ATC
- Ground handlers
- Myndigheder (border, security)
- Leverandører
- Ledelse
- Medarbejdere

VÆRDI

- Bedre beslutninger
- Højere kapacitet
- Mere robust drift
- Lavere omkostninger
- Lavere miljøbelastning
- Bedre passageroplevelse

Feedback og kontinuerlig læring

Sikre, standardiserede interfaces (APIs, events, data streams)

Feedback og kontinuerlig læring

EKSISTERENDE SYSTEMER (EKSEMPLER)

ERP	AODB	AMS	TMS	BHS	FMS	HR	CRM	Andre
(økonomi, indkøb, lager, aktiver)	(fly, trafik, slots)	(aktiver, vedligehold)	(ground handling)	(bagage)	(facility management)	(medarbejdere, planlægning)	(passagerer)	(partnere, myndigheder)

FUNDAMENT: DATA · TEKNOLOGI · GOVERNANCE · SIKKERHED

Cloud / hybrid infrastruktur · Data governance & sikkerhed · Standarder og åbne interfaces · AI/ML platform · Compliance og audit · Skalerbar og robust drift



Fra komplekse data til en mere effektiv, sikker og bæredygtig lufthavn.