

# **Proof-of-concept i produktutvecklingsprocessen**

*Johan Westberg*

---

*Avdelningen för Maskinkonstruktion • Institutionen för Designvetenskaper  
Lunds Tekniska Högskola • Lunds Universitet • 2014*



**LUNDS UNIVERSITET**

# **Proof-of-concept i produktutvecklingsprocessen**

*Johan Westberg*

---

*Avdelningen för Maskinkonstruktion • Institutionen för Designvetenskaper*

*Lunds Tekniska Högskola • Lunds Universitet • 2014*

Avdelningen för Maskinkonstruktion, Institutionen för designvetenskaper  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 LUND

ISRN LUTMDN/TMKT 14/5491 SE

## Förord

Jag är en student vid Lunds Tekniska Högskola och går sista året på civilingenjörsprogrammet med inriktning på maskinteknik, produktutveckling. Examensarbetet har utförts vid avdelningen för maskinkonstruktion. Jag vill tacka min examinator Per Kristav, universitetsadjunkt, Robert Bjärnemo, professor och ämnesansvarig samt Damien Motte, post doktorand utan vars insats detta arbete varit en omöjlighet, speciellt Robert Bjärnemo som föreslog ämnet och gav goda råd samt Damien Motte för ovärderliga råd och feedback på mina texter.

Lund, februari 2014

Johan Westberg

## Abstract

This Master's Thesis has been carried out at the Division of Machine Design, Department of Design Science, LTH and is about studying the signification and importance of "proof of concept" and its place in the product development process. The first part of this assignment consisted of examining existing product development methodologies and to find out to what extent the proof of concept activity is incorporated into these process models. It turned out that none of the analyzed works has incorporated the proof of concept activity into their process models, but Ulrich och Eppinger [2], Ullman [3], Otto och Wood [4] was chosen to be analyzed further as they used "proof of concept prototypes" as a *tool* in their product development theory.

Next, the significance behind proof of concept and how to use it in product development was further analyzed by looking into other fields, such as software development, and a definition was suggested. The suggested definition is: "a proof of an idea or method that is technologically feasible in practice." This is done in practice by building a physical prototype. Proof of concept prototypes are built with as cheap and readily available materials as possible and only the necessary subsystems of the product are prototyped.

In order to establish the place of the proof of concept activity in the development process further analyses of prototypes were performed. Problems with finding the right place due to the classifications of prototypes together with the nature of proof of concept prototypes were identified, but suggestions were made on how to incorporate the proof of concepts activity in the product development process.

### Keywords:

proof of concept, product development, concept development, engineering design, engineering methodology,

## Sammanfattning

Detta examensarbete var ett projekt som utfördes vid avdelningen för maskinkonstruktion vid Lunds Tekniska Högskola och gick ut på att studera, utreda och begränsa det begrepp som inom produktutvecklingen benämns för proof-of-concept (PoC).

Arbetet genomfördes genom att först granska och analysera modeller för produktutvecklingsprocesser från ett antal textböcker. Valet föll på Ulrich och Eppinger [2], Ullman [3] och Otto och Wood [4] då dessa verk är välkända och dessutom använder proof-of-concept som begrepp i sin litteratur. Det man kunde konstatera var att produktutvecklingsmodellernas indelning i olika faser skiljde sig åt, men att de ingående momenten överlag var likadana. Tre övergripande faser kunde åskådliggöras för alla tre modeller (även om dessa modeller har olika fördelningar): en planeringsfas, en konceptfas och en produktutvecklingsfas. Dessutom granskades författarnas idéer om proof-of-concept-prototyper där det konstaterades att ingen av dem ingående redogjorde för en fullständig definition av begreppet eller dess plats i utvecklingsprocessen.

Nästa steg var att granska betydelsen av proof-of-concept inom en rad olika områden, såsom mjukvaru- och affärsutveckling. Den gemensamma nämnaren för alla dessa betydelser är en strävan efter att bevisa att den idé man har går att förverkliga med avseende på vad som är avgörande för utvecklingsprocessen inom respektive område. Dessutom redogjordes för så kallade go/no go-milstolpar i utvecklingsprocessen och vikten av att de tekniska lösningar man avser bevisa med hjälp av proof-of-concept-prototyper fungerar innan man startar själva produktutvecklingsprocessen. Detta eftersom kostnaderna relaterade med själva utvecklingen av produkten är höga och man därför vill undvika att tvingas lägga ner projektet i ett senare skede.

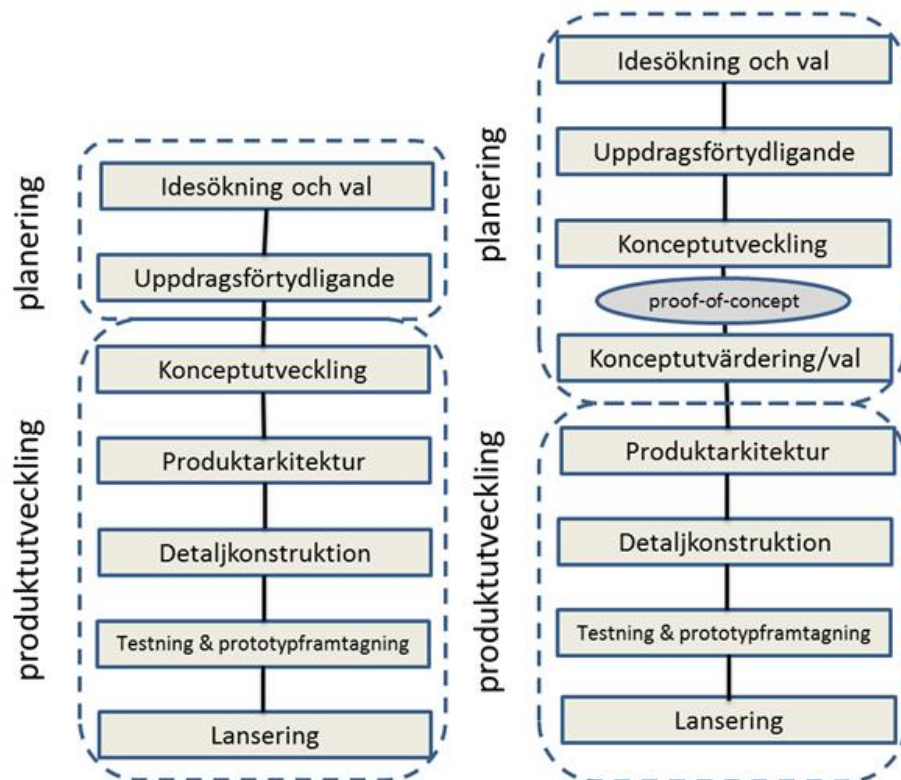
Vidare diskuterades betydelsen av konceptbegreppet samt problematiken bakom detta begrepp. Koncept är ett allmängiltigt uttryck för en produktidé vars konkretiseringsgrad varierar från fall till fall, samtidigt som proof-of-concept syftar på att bevisa en produkts funktioner i de fall man är osäker på huruvida dessa funktioner fungerar i praktiken. Det poängterades även att proof-of-concept-prototyper inte alltid behöver byggas och att det avgörande för detta är produktens innovationsgrad, företagets erfarenhet och tekniskt kunnande samt ekonomiska resurser. Dessutom diskuterades vikten av att begränsa sig till de delsystem vars funktioner behöver bevisas för att hålla kostnader nere.

Efter detta gavs ett förslag på en definition av proof-of-concept. Proof-of-concept syftar till att bevisa att en idé eller metod är tekniskt genomförbar i praktiken, vilket sker genom byggandet av en prototyp. De begränsningar som görs är att produkten i fråga är av diskret natur och utvecklas på ett ingenjörsföretag.

Nästa steg var att redogöra för prototyper i allmänhet: Varför man bygger prototyper och vilka frågor man kan tänkas vilja ha svar på. Olika författareshar indelning av

prototyper redogjordes för med fokus på de tre verk som särskilt studerats i detta arbete. Det konstaterades att varken Ulrich och Eppinger [2] eller Ullman [3] täcker in de olika frågor ett företag kan tänkas ha med sin klassificering av prototyper och att Otto och Wood [4] har en mer detaljerad indelning som borde fungera bättre med avseende på detta. Däremot befanns ingen av processmodellerna särskilt lämpad om man vill infoga PoC på en specifik plats i utvecklingsprocessen.

Som sista steg ges ett förslag på en enkel modell som är tänkt att tillsammans med existerande produktutvecklingsmodeller belysa proof-of-concept-prototypers plats i produktutvecklingsprocessen. Denna modell kan studeras i figuren nedan.



**Figur 1.** Förslag till övergripande produktutvecklingsmodell för produkt där proof-of-concept inte behöver användas (vänster) och övergripande produktutvecklingsmodell där proof-of-concept ska användas (höger).

# Innehållsförteckning

<b>1 Introduktion.....</b>	<b>1</b>
1.1 Mål.....	1
1.2 Tillvägagångssätt .....	1
1.3 Val av litteratur .....	1
1.4 Rapportdisposition.....	2
<b>2 Teorier om produktutvecklingsprocessen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Övergripande modell för produktutvecklingsprocessen enligt Ulrich och Eppinger [2] .....	3
2.1.1 Ulrich och Eppinger om proof-of-concept.....	7
2.2 Övergripande modell för produktutvecklingsprocessen enligt David G Ullman [3].	7
2.2.1 Ullman om proof-of-concept.....	15
2.3 Övergripande modell för produktutvecklingsprocessen enligt Otto och Wood [4]	16
2.3.1 Otto och Wood om proof-of-concept.....	16
2.4 Syntes.....	16
<b>3 Proof-of-concept.....</b>	<b>18</b>
3.1 Proof-of-concept inom andra områden.....	18
3.2 Go/no go milstolpar .....	18
3.3 Diskussion.....	20
<b>4 Prototyper .....</b>	<b>23</b>
4.1 Allmänt om prototyper .....	23
4.2 Kategorisering av prototyper.....	24
4.3 Klassificering av prototyper enligt Ulrich och Eppinger .....	25
4.4 Klassificering av prototyper enligt Ullman.....	27
4.5 Klassificering av prototyper enligt Otto och Wood .....	29
4.6 Fallstudie .....	30



4.7 Diskussion.....	32
<b>5 Syntes.....</b>	<b>35</b>
5.1 Kort sammanfattning av vad som redogjorts för hittills.....	35
5.2 Proof-of-concept i produktutvecklingsprocessen .....	35
<b>Referenser.....</b>	<b>38</b>

# 1 Introduktion

*Detta examensarbete går ut på att utreda begreppet proof-of-concept och dess plats i utvecklingsprocessen. Användandet av olika medier, inklusive byggsatser, mock-ups och hands-on experiment för att tidigt i processen verifiera produkters funktioner, är relativt vanligt inom traditionell konstruktion och design. Det finns mycket litteratur som behandlar produktutvecklingsprocesser och även mycket teori om prototyper, men trots detta har mycket lite skrivits om själva proof-of-concept-aktiviteter [1]. Detta är till stor del bakgrunden till detta projekt då det får anses som otillfredsställande från en ingenjörs synvinkel med tanke på hur viktigt det är då en ny produkt med oprövade funktioner ska utvecklas.*

## 1.1 Mål

Syftet med detta arbete är att utreda och avgränsa begreppet som inom produktutvecklingen benämns för proof-of-concept (PoC). Det finns två övergripande frågor som detta arbete ska försöka få svar på. Dels hur PoC ska användas och definieras och dels var PoC-aktiviteten ska placeras in i produktutvecklingsprocessen. Första målet med arbetet är att kartlägga vad som finns skrivet om PoC, produktutvecklingsprocesserna och utreda på vilket sätt man har valt att passa in PoC i dessa processer. Det andra målet är att kritisera de modeller som studerats och avgöra om författarna ger en klar bild om vad PoC egentligen betyder och hur det används inom teorin för produktutveckling. Det tredje målet avser att ge förslag på förbättringar av begreppet PoC och förtydliga dess roll inom produktutvecklingen.

## 1.2 Tillvägagångssätt

Arbetet ska utföras genom att först gå igenom den litteratur som finns inom området och därefter välja ut lämpliga modeller och teorier. Därefter ska dessa modeller granskas och analyseras utifrån ett perspektiv där PoC spelar en central roll. Utöver detta ska artiklar sökas för att ge en bred uppfattning om hur företag praktiskt och analytiskt använder sig av PoC i sin verksamhet. Förslag på vilken roll PoC bör ha i processutvecklingsprocessen ska sedan ges.

## 1.3 Val av litteratur

För att välja ut lämplig litteratur inom produktutveckling har ett flertal kriterier använts. Målet har varit att försöka använda olika modeller med stor spridning och som dessutom behandlar PoC i sina modeller. Ulrich och Eppinger, *Product design and development* [2] har valts då den dels har stor spridning och används i utbildningen på institutionen på maskinkonstruktion vid LTH och dels använder PoC

i sin produktutvecklingsmodell. Ullman, *The mechanical design process* [3] har valts främst på grund av att boken behandlar avsnittet om prototyper på ett rimligare sätt jämfört med Ulrich och Eppinger. Otto och Wood, *Techniques in reverse engineering and new product development* [4] har relativt stor spridning och är betydligt mer omfattande i metodiken än de andra.

### 1.4 Rapportdisposition

Strukturen av denna rapport ser ut enligt följande:

- I kapitel 2 studeras olika produktutvecklingsmodeller där syftet är att inhämta information om skillnader och likheter mellan dessa modeller samt hur PoC passar in i modellerna.
- I kapitel 3 studeras begreppet PoC inom flera olika områden och en diskussion förs om problematiken med avseende på en enhetlig definierad betydelse av PoC och kommer fram till att PoC kännetecknas av användning av prototyper. Kapitlet avslutas med förslag på en definition med avseende på ingenjörsföretag.
- I kapitel 4 avhandlas bakomliggande teori om prototyper och specifikt klassificeringen av prototyper enligt Ulrich och Eppinger [2], Ullman [3] och Otto och Wood [4].
- I kapitel 5 förs en diskussion om hur PoC bör införas i produktutvecklingsprocessen.

## 2 Teorier om produktutvecklingsprocessen

*I detta kapitel studeras ett antal produktutvecklingsmodeller. Syftet är att hämta in information om vilka modeller som finns, urskilja likheter och skillnader mellan modellerna, och kritisera valda delar utifrån ett perspektiv där PoC-begreppet står i centrum. Vad skriver författarna egentligen om PoC? Har de på ett begripligt sätt utrett hur PoC passar in i produktutvecklingsmodellen? Kapitlet inriktar sig framför allt på produktplanerings- och konceptutvecklingsfaserna och inte på övriga faser i produktutvecklingsprocessen. Detta då dessa faser är relevanta för PoC-prototyper.*

### 2.1 Övergripande modell för produktutvecklingsprocessen enligt Ulrich och Eppinger [2]

Ulrich och Eppingers modell ska enligt författarna i första hand appliceras på produkter som är tillverkade av ingenjörer samt är diskreta och fysiska. Att modellen är anpassad till ingenjörstillverkade produkter innebär att den lämpar sig bättre för utveckling av exempelvis elverktyg och kringutrustning av datorer än tidningar och klädesplagg. Eftersom modellen dessutom är anpassad för diskreta produkter är det inte heller lämpligt att utan vidare applicera den på produkter som bensin, nylon eller papper. Slutligen avser det fysiska kriteriet att modellen inte lämpar sig för utveckling av mjukvara eller serviceprodukter.

I modellen är utvecklingsprocessen indelad i sex olika faser enligt figur 2.1. Detta arbete kommer inte att behandla avsnitten om system-level design, detail design och production ramp-up.

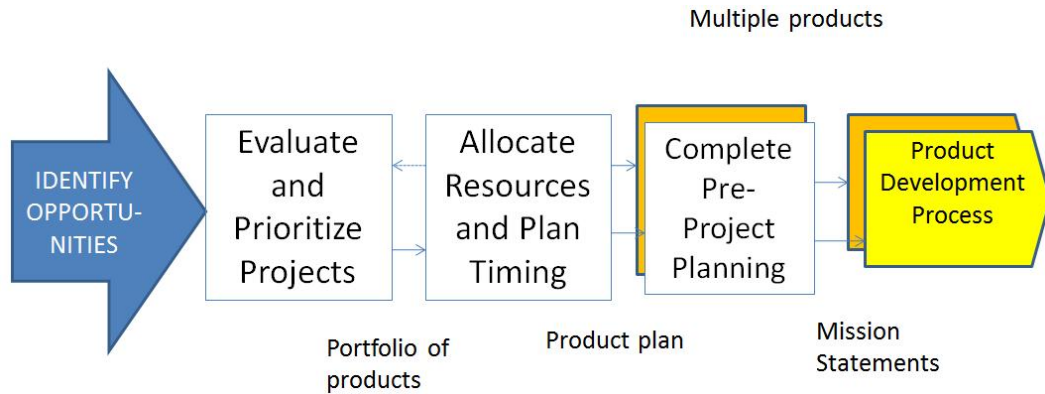


**Figur 2.1.** Schematisk bild över produktutvecklingens olika huvudfaser enligt Ulrich och Eppinger.

Den första är en planeringsfas som betecknas "fas noll" eftersom den föregår själva produktutvecklingsprocessen. Denna fas indelar Ulrich och Eppinger i fyra olika steg (**Figur 2.2**). Här är första steget i planeringsprocessen att samla ihop och identifiera de möjligheter företaget har att utveckla produkter. Ett produktutvecklingsprojekt kan klassificeras i fyra olika typer av projekt:

- Nya produktplattformar: Med detta avses att företaget utvecklar en helt ny familj av produkter som alla delar en gemensam plattform.
- Derivat av befintliga produktplattformar: Med detta avses utvecklandet av en ny produkt vars plattform redan existerar hos andra produkter hos företaget.

- Inkrementella förbättringar av befintliga produkter: Med detta avses förbättringar och förändringar till redan befintliga produkter hos företaget.
- Fundamentalt nya produkter: Med detta avses utvecklandet av en helt ny produkt.



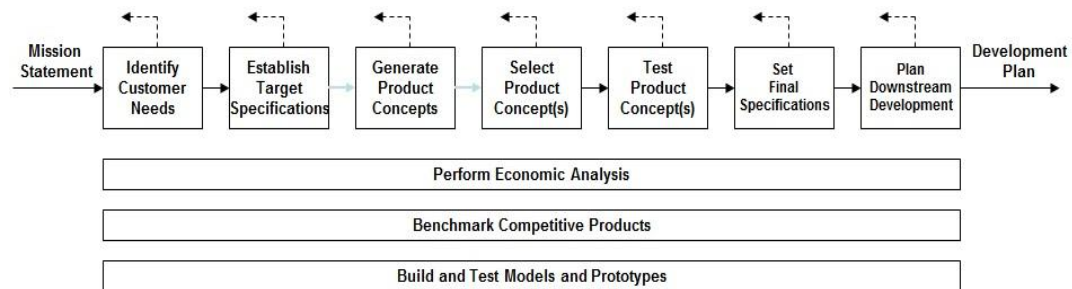
**Figur 2.2.** Planeringsfasen indelad i fyra steg som leder fram till produktutvecklingsfasen enligt Ulrich och Eppinger.

Idéer till de olika projekten kan komma från många olika håll. Exempel vis kan idéerna komma från marknadsföring- och försäljningspersonal, forskning och teknikutvecklingsorganisationer, utvecklingsavdelningar på företaget, kunder, leverantörer, uppfinnare och affärspartners.

I ett andra steg utvärderar man och prioriterar projekten. Till grund för detta ligger olika typer av strategier företaget kan tänkas ha. Ofta stämmer de möjligheter företaget samlat på sig inte överens med företagets profil och de är dessutom alldeles för många för att man ska kunna satsa på alla.

I det tredje steget fördelar man resurser och lägger upp tidsplaner för de olika projekten för att i det fjärde steget slutföra arbetet i planeringsfasen. Slutligen bör man dessutom reflektera över resultatet och processen.

Den andra fasen berör framtagning och utveckling av produktkoncept. En övergripande mall för hur detta går till kan ses i **Figur 2.3**.



**Figur 2.3** Konceptutvecklingsfasen enligt Ulrich och Eppinger. Ekonomiska analyser, benchmarking och framtagning av analytiska modeller och prototyper utförs parallellt med aktiviteterna under konceptfasen.

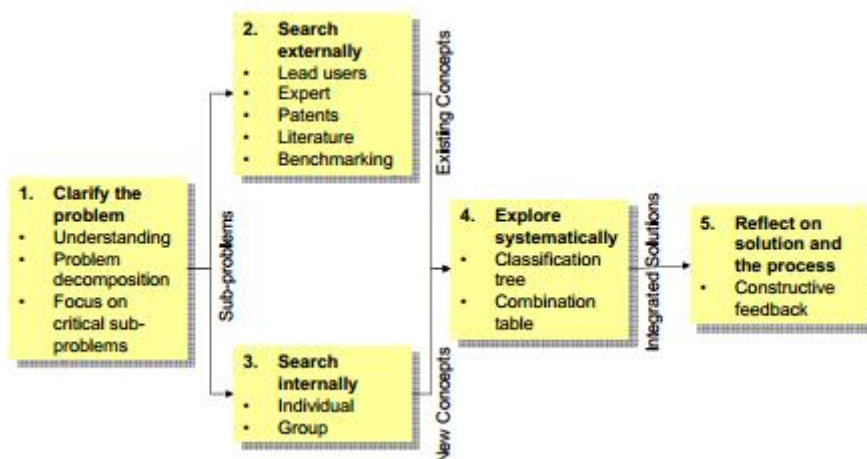
Konceptgenereringsprocessen börjar med att man identifierar de kundbehov som kan tänkas finnas. Detta sker genom en femstegsmetod vars steg är:

1. Inhämta information från kunder genom intervjuer, fokusgrupper eller egna observationer.
2. Tolka informationen utifrån ett kundbehovsrelaterat perspektiv.
3. Organisera kundbehoven i grupper som gör dem mer överblickbara.
4. Fastställ hur viktiga kundbehoven är gentemot varandra.
5. Reflektera över resultatet.

Eftersom kundbehoven i det här skedet ligger på en relativt abstrakt nivå är nästa steg att utarbeta produktens målspecifikationer. Denna process sker i fyra steg och är som följer:

1. Sammanställ en lista av mätdata.
2. Inhämta information från benchmarking.
3. Fastställ ideala och acceptabla värden för produkten
4. Reflektera över resultatet.

Nästa steg handlar om att ta fram koncept. Ulrich och Eppinger definierar ett produktkoncept som en ungefärlig beskrivning av teknologin hos produkten, hur produkten fungerar principiellt samt dess form. Det är en kortfattad beskrivning av hur produkten kommer att tillfredsställa kundernas behov och är ofta uttryckt som en skiss eller grov 3-D-modell. Själva konceptgenereringen består av en femstegsmetod (Figur 2.4)



**Figur 2.4.** Femstegsmetod för Konceptgenerering enligt Ulrich och Eppinger.

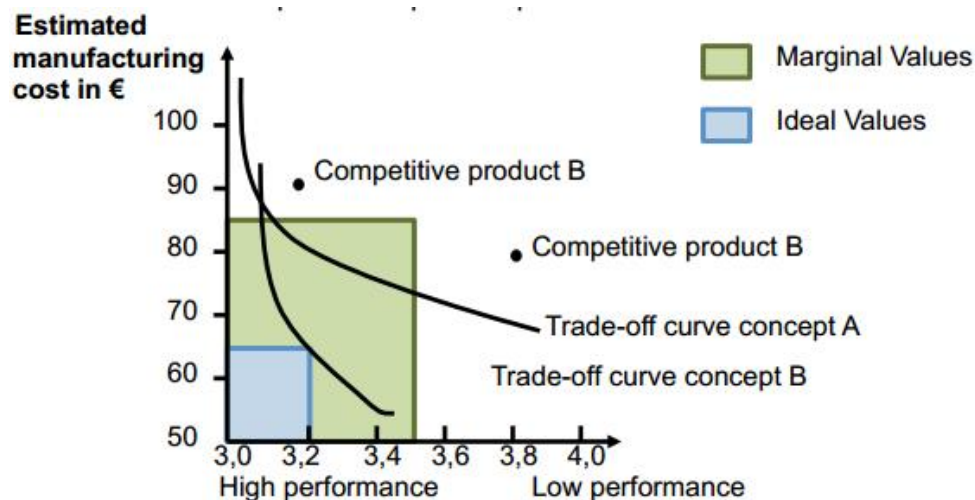
Ett eller flera koncept väljs sedan för vidare utveckling och utvärdering.

För att kunna välja produktens slutgiltiga specifikationer föreslår Ulrich och Eppinger i nästa steg en femstegsprocess där man börjar med att utveckla en teknisk modell av produkten. Exemplet de använder sig av är en framgaffel till en mountainbike och man vill där få svar på frågor som vilken typ av material som bäst lämpar sig, vilken geometri man bör ha samt vilken viskositet på oljan vid spolfjädern man ska ha. Det ideala anser de vara att använda sig av en analytisk modell som t ex datorsimulering eftersom man då snabbt kan förutsäga prestandan hos de designvariabler man är intresserade av utan att riskera de kostnader som medföljer experiment med fysiska prototyper. Ofta kan man dock endast använda sig av analytiska modeller för att simulera ett fåtal designvariabler. Man kan med fördel använda sig av flera oberoende modeller som var och en motsvarar specifika mätdata då det kan vara lättare att hantera var för sig.

I de fall analytiska modeller inte går att använda använder man sig av fysiska mock-ups eller prototyper. Det är ofta nödvändigt att bygga ett flertal för att utforska hur kombinationer av designvariabler fungerar tillsammans. För att minska antalet modeller är det bra att använda sig av Design-of-experiments-tekniker (DOE).

Nästa steg är att utveckla en kostnadsmodell för produkten. Målet med denna är att se till att produktens tillverkningskostnad ger möjlighet för en adekvat vinst med hänseende till produktens pris för kunden som bör vara konkurrenskraftigt.

Det tredje steget handlar om att förfina specifikationerna. Ett viktigt verktyg för att komma fram till rätt beslut är en så kallad competitive map eller trade-off map, se exempel i **Figur 2.5**. Denna visar hur konkurrerande produkter förhåller sig till produkten i fråga när det kommer till två utvalda designvariabler, här uppskattade kostnader och prestanda.



**Figur 2.5.** Competitive map som visar hur två konkurrerande produkter förhåller sig till produkten när det kommer till två designvariabler. I detta fall uppskattade kostnader och prestanda. [23]

I det fjärde steget utvecklar man specifikationerna till produktens subsystem.

Slutligen bör man reflektera över resultatet och processen.

I denna fas planeras även projektet i form av en detaljerad utvecklingsplan, strategier för att minimera utvecklingstiden och identifiering av resurser. Dessutom görs ekonomiska analyser och jämförelser med konkurrenter fortlöpande under hela processen för att utreda om fortsatt utveckling av produkten är motiverad.

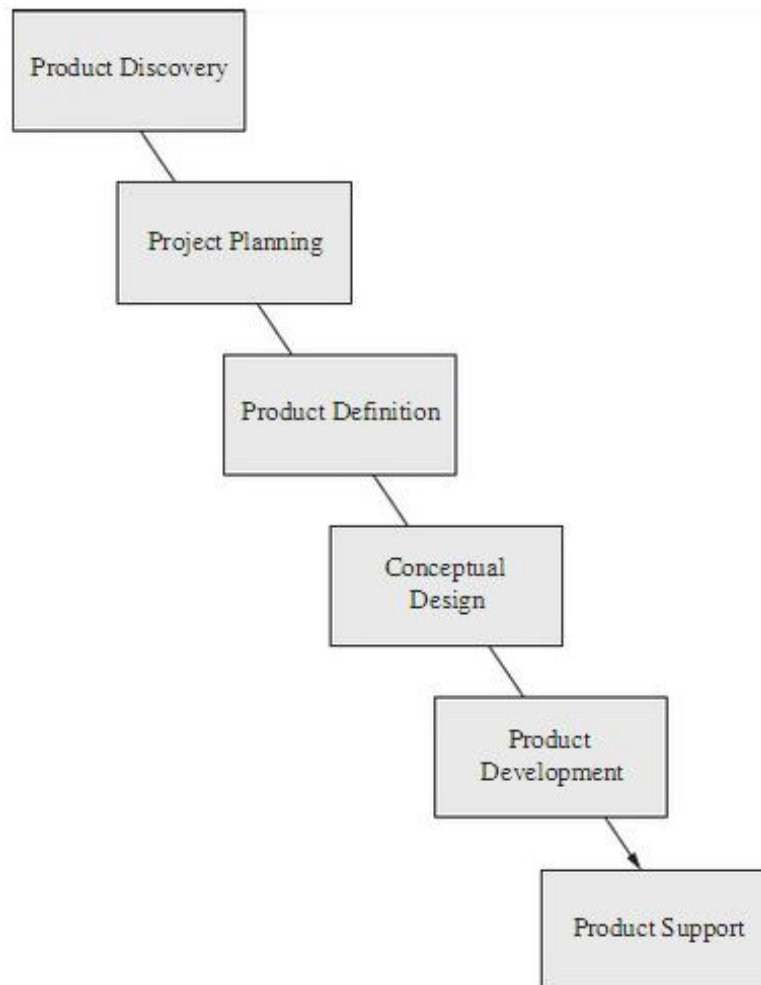
### 2.1.1 Ulrich och Eppinger om proof-of-concept

Ulrich och Eppinger går inte djupare in på betydelsen av PoC utan konstaterar kort att det innebär en prototyp som ska testa en idé och som syftar till att snabbt validera en produkts övergripande funktionalitet. De säger heller inte var i produktutvecklingsprocessen man förväntas använda sig av denna.

## 2.2 Övergripande modell för produktutvecklingsprocessen enligt David G Ullman [3]

Ullmans hävdar att hans modell kan appliceras på alla typer av designproblem, oavsett om dessa är av mekanisk eller elektrisk natur, programvara eller byggprojekt. Alla produkter som utvecklas, oavsett typ av industri genomgår samma generiska faser även om detaljerna i dessa faser skiljer sig åt. Modellens huvudfaser framgår av figur 2.6.

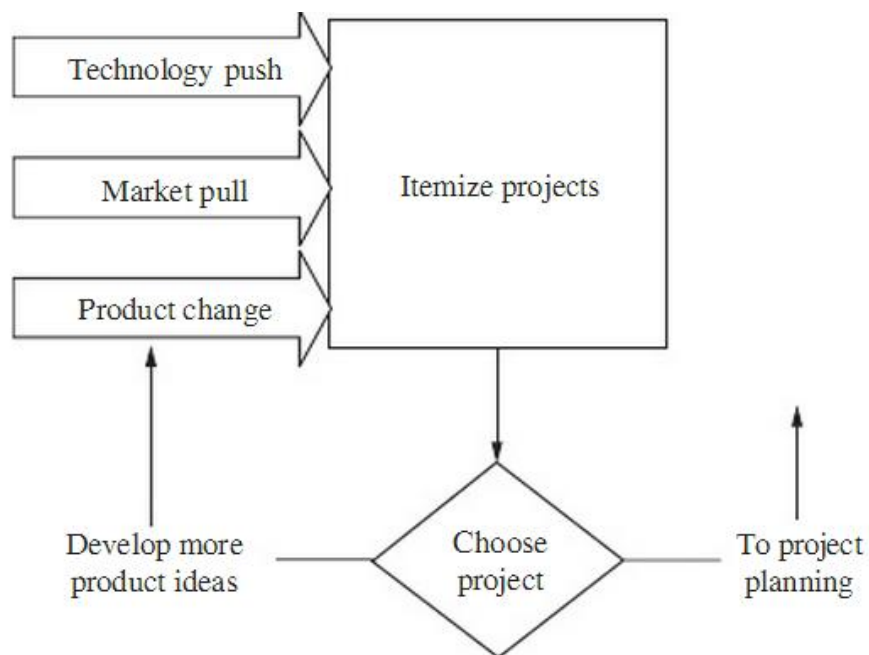




**Figur 2.6.** Övergripande generisk modell över produktutvecklingens huvudfaser enligt Ullman.

**Product discovery:**

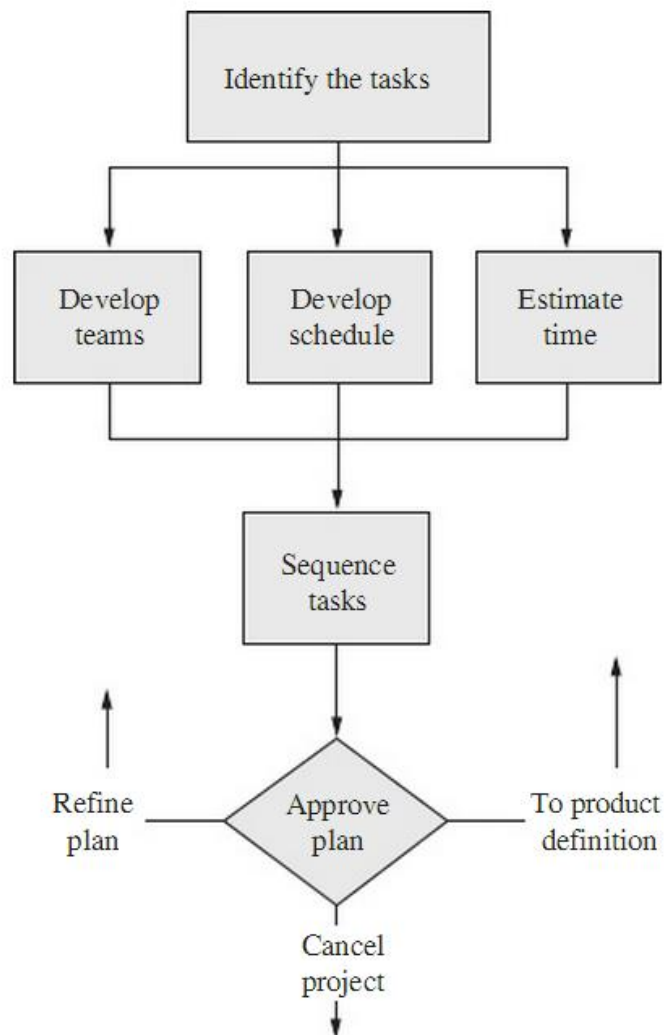
Den första fasen syftar till att utveckla en lista av möjliga projekt för att sedan välja de som ska gå vidare till planeringsfasen. Som framgår av Figur 2.7 finns det tre huvudsakliga källor som kan utmynna i ett projekt: a) vid marknadsefterfrågan på nya produkter eller egenskaper hos produkter, b) vid teknikutveckling där ny teknologi utvecklats innan kundbehov uppstått och c) vid produktförändringar till följd av ökad konkurrens på etablerade produkter.



**Figure 2.7.** Project Discovery phase

**The project planning phase:**

Nästa fas är en planeringsfas som syftar till att planera företagets resurser; tid, personal och pengar (**Figur 2.8**). Det gäller att först utreda vad som behöver göras så att man sedan kan allokera personal, utveckla scheman och uppskatta hur lång tid projekten kan ta. Ullman beskriver fasen i fem steg där det första steget börjar med att man identifierar de uppgifter som behöver utföras.



**Figur 2.8.** Project Planning phase

I det andra steget anger man mål för varje uppgift. Dessa uppgifter bör vara så detaljerade som möjligt och bör fokusera på vad som ska uppnås och inte i termer av aktiviteter som ska utföras.

I det tredje steget identifieras personal som ska arbeta och ansvara för att uppfylla målen samt uppskattningar av hur mycket av deras tid som kommer att krävas och hur lång tid uppgifterna kommer att ta.

Det fjärde steget utvecklas och preciseras ett schema för hur uppgifterna ska utföras. Det gäller att här främst se till att uppgifterna utförs innan dess resultat behövs för en annan uppgift samtidigt som man använder sig av all personal under hela produktutvecklingsprocessen.

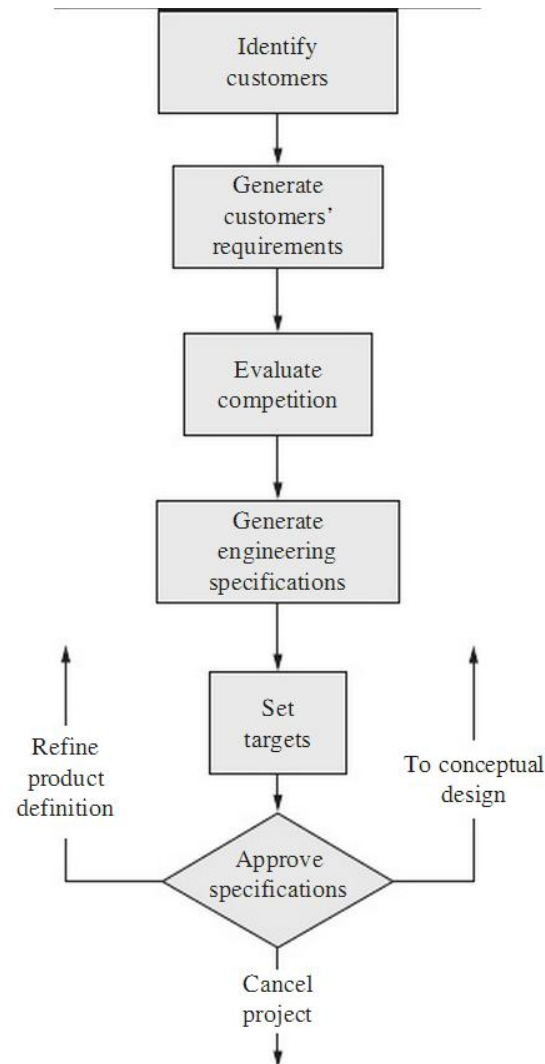
I det femte och sista steget i planeringsfasen uppskattas kostnaden för produktutvecklingsprocessen (inte för produkten). Några grundläggande riktlinjer för dessa kostnader är löner, tillverkning av prototyper, testfaciliteter och resekostnader.

I detta skede avgör man även om man behöver gå tillbaka och förfina, avsluta eller skicka projektet vidare till nästa fas.

### **The project definition phase:**

Under denna fas är det övergripande syftet att försöka förstå problemen och lägga grunden för hela utvecklingsprocessen (**Figur 2.9**). För att kunna uppnå detta föreslår

Ullman en metod som börjar med att man först identifierar produktens kunder. Denna aktivitet ligger till grund för att generera kundspecifikationerna. Dessa används i sin tur för att utvärdera konkurrenter och generera de tekniska specifikationerna. Slutligen, för att sätta mått på produktens kvalitet, väljs produktens målspecifikationer.



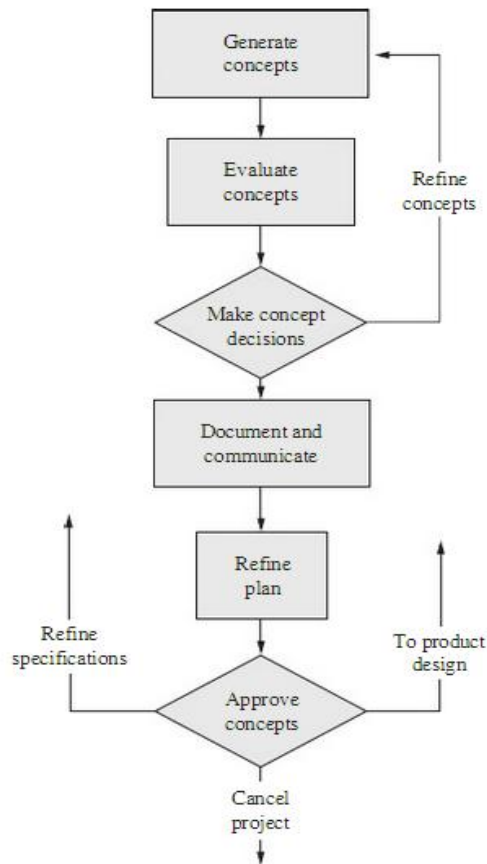
**Figur 2.9.** Project definition phase.

#### **The conceptual design phase:**

Ullman beskriver ett produktkoncept som en idé som är tillräckligt utvecklad för att man ska kunna utvärdera de fysikaliska egenskaper som styr dess beteende.

Konceptutveckling handlar till stor del om att bekräfta att ett koncept fungerar som förväntat och att man med ytterligare utveckling av koncepten lyckas uppfylla de mål som fastställs. Koncept kan representeras av en grov skiss, flödesdiagram, PoC prototyp, en uppsättning av beräkningar eller textanteckningar. Det viktigaste dock är att representationen av konceptet är tillräckligt detaljrik för att man ska kunna säkerställa funktionaliteten hos idén.

Konstruktörer använder resultatet från de två tidigare faserna till att generera och utvärdera koncept för produkten. Kundenspecifikationerna ligger till grund för att utveckla en funktionell modell för produkten. Efter konceptens utvärdering jämförs dessa och de som anses fungera bäst väljs ut. Här ska tilläggas att Ullman ger exempel på olika typer av produkter med varierande teknisk innovationsnivå. Dels produkter vars koncept består av små förändringar av gamla produkter och dels produkter där helt nya konceptlösningar införts. De senare koncepten kräver en mycket större analys än de produkter vars konceptförändringar är små.

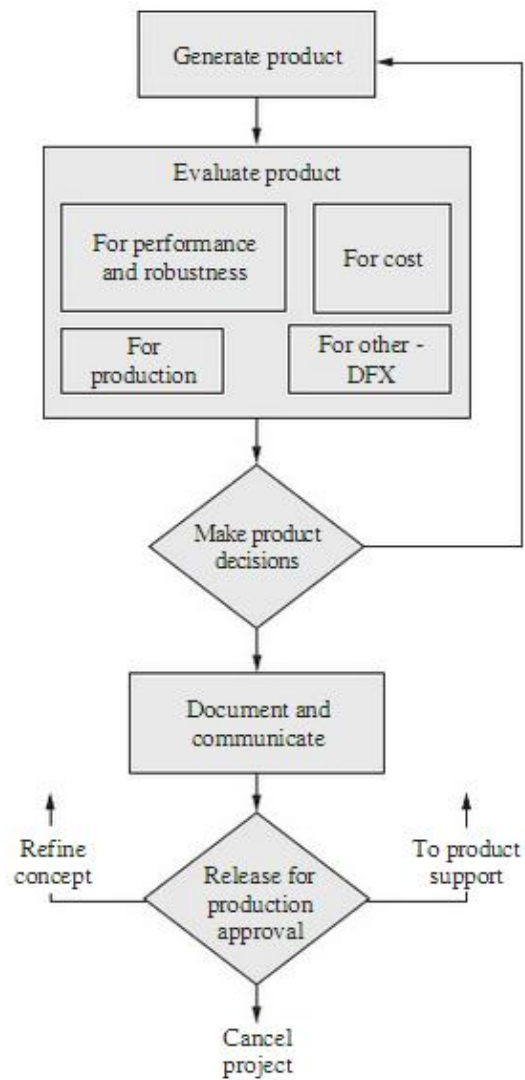


**Figur 2.10.** Conceptual design phase.

#### The product development phase:

Nästa fas är själva produktutvecklingsfasen där målet är att utveckla koncepten till färdiga produkter. Denna process är iterativ där produkter genereras och sedan

utvärderas för att se om de fyller krav man har. Beroende på resultatet av utvärderingarna görs kontinuerligt ändringar, vilket gör att man får en iterativ loop enligt figur 2.11.

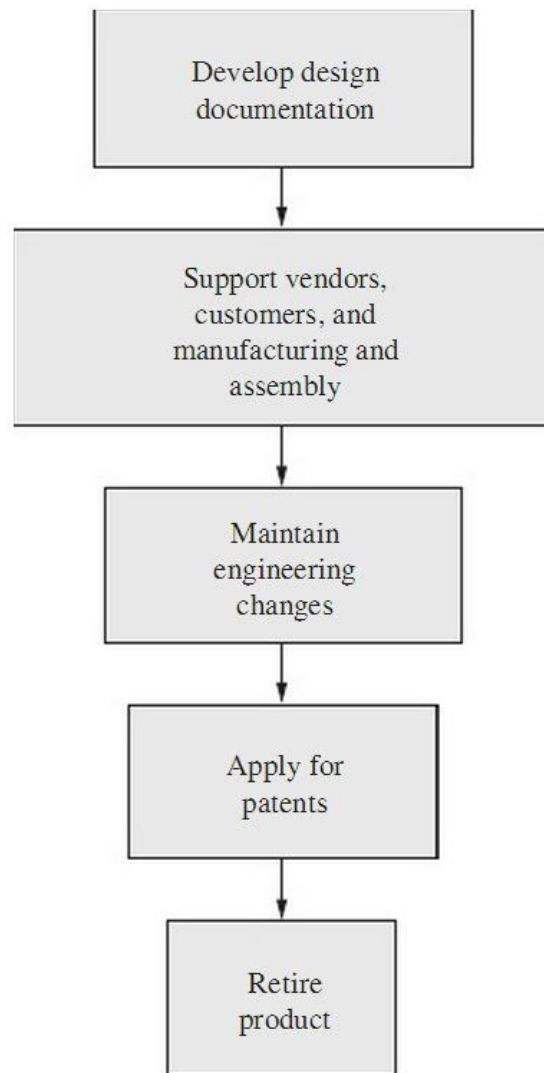


**Figur 2.11.** Product development phase

**The product support phase:**

Konstruktörens ansvar slutar inte alltid bara för att produkten släpps till produktion. Ofta behövs ytterligare support till tillverkning och montering, försäljare och kunder. Utöver detta är konstruktörer ofta inblandade i de förändringar produkten genomgår av olika anledningar.

Slutligen är konstruktörerna dessutom ofta inblandade i avvecklandet av produkten.



**Figur 2.12** . Product support phase.

### 2.2.1 Ullman om proof-of-concept



Ullman beskriver PoC (eller proof-of-function) som en modell för att man ska kunna utveckla produktens funktioner och avgöra om dessa svarar mot kundens krav och andra tekniska specifikationer. Dessa framställs i det initiala skedet av produktutvecklingsprocessen. Anledningen till att bygga en PoC-prototyp är att man ska få en bättre förståelse för den fortsatta produktutvecklingsprocessen och dessutom klargöra vilka designmål man bör ha. Han menar även att man här inte är intresserade av produktens exakta fysiska egenskaper och att det därför inte spelar någon roll vilken typ av material man använder sig av. Ullman betonar vikten av att tidigt under utvecklingsprocessen planera för vilka prototyper som ska byggas, men går inte in närmare på när eller under vilken fas det är lämpligt att t.ex. bygga PoC-prototyper. PoC är alltså inte integrerat i processmodellen. Inte heller föreslås var andra sorters prototyper bör placeras någonstans.

## **2.3 Övergripande modell för produktutvecklingsprocessen enligt Otto och Wood [4]**

Otto och Wood har varken någon detaljerad eller övergripande modell för produktutvecklingsprocessen. Istället har man delat in lämpliga avsnitt i faser, men går inte in närmare på i vilken ordning dessa bör utföras. Förklaringen påstår de vara att processen till stor del beror på vilken produkt som ska tillverkas och därmed skiljer sig åt mellan olika produktutvecklingsprojekt. I allmänhet går man dock igenom samma steg och faser som övriga författare har i sina modeller. I stora drag består detta av en planeringsfas, en konceptutvecklingsfas och en produktutvecklingsfas. Detta gör att deras bok blir svår att använda som ett pedagogiskt instrument och lämpar sig bättre som referenslitteratur. Man har ett stort och gediget kapitel som behandlar prototyper, men ger endast allmänna råd, vilket gör att PoC endast avhandlas i termer av hur det bör definieras som begrepp och ungefär när det är lämpligt att bygga dessa prototyper. Dess plats i utvecklingsprocessen analyseras inte ingående. Man ger inte heller någon allmän definition på koncept.

### **2.3.1 Otto och Wood om proof-of-concept**

Enligt Otto och Wood framställs poc-prototyper för att besvara specifika frågor som har att göra med en produkts funktionalitet och man använder sig ofta av enkla material. De fokuserar inte på produkten som helhet utan snarare på komponenter eller delsystem hos produkten. PoC-prototyper konstrueras efter konceptgenereringen, ofta under tidpunkten då man väljer vilka koncept som man ska jobba vidare med under processen.

## **2.4 Syntes**

De skillnader som främst finns mellan processmodellerna som studerats är hur de indelat de olika faserna, vilka moment som ingår och hur dessa utförs. Generellt kan man dock säga att det finns tre olika övergripande faser (Figur 2.13):

1) En planeringsfas som innehåller moment där företagets strategier och mål klargörs, marknadsanalyser där man studerar trender och identifierar kundbehov, analyser av

situationen i företaget, redan existerande produkter och teknologier samt planering av resurser och kostnader.

2) En konceptfas där de övergripande idéerna formuleras för hur lösningen ska se ut och fungera. De moment som utförs i detta skede omfattar upprättande av produktspecifikationer som bygger på kund- och marknadsbehoven; framtagning av konceptförslag med hjälp av metoder som t.ex. brainstorming, sökningar inom företaget och jämförelser med existerande produkter; utvärdering och vidareutveckling av konceptförslag som sedan ligger till grund för beslut av vilket eller vilka koncept som ska gå vidare i produktutvecklingsprocessen.

3) Produktutvecklingsfasen där produktarkitekturen definieras och hur produktens olika delsystem indelas samt hur delsystemen ska integreras; optimering av produkten och dess komponenter; fastställning av geometrier, material och toleranser; framställning av analytiska modeller och eller fysiska prototyper samt testning av produkten. Här utvecklas och fastställs även produktens tillverkningstekniska processer.

Man bör även notera att fasen produktutveckling här används som ett begrepp där planerings- och konceptfasen inte omfattas. Vanligtvis används ju annars produktutveckling som ett begrepp där man syftar på hela processen, från början till slut.



**Figur 2.13.** De tre övergripande faserna i produktutvecklingsprocessen.

Ingen av de processmodeller som granskats i detta kapitel har integrerat PoC-prototyper. Endast den övergripande betydelsen och allmänna råd ges. I andra processmodeller som inte redovisats i detta avsnitt, exempelvis de välciterade Wheelwright och Clark [5] och Pahl och Beitz [6] - den senare en av de mest citerade verken vid forskning i produktutveckling [7] - tas inte PoC-prototyper upp överhuvudtaget. Otto och Wood [4] är de som trots allt placerar PoC-prototyper vanligtvis någonstans mellan konceptgenerering och konceptval, men har å andra sidan ingen generisk modell över utvecklingsprocessen.

För att kunna få en bättre uppfattning över var i processen PoC bör finnas är det lämpligt att gå djupare in på PoC och dess betydelse. Detta görs i nästa kapitel.

## 3 Proof-of-concept

*Proof-of-concept är ett begrepp som används flitigt med en rad olika betydelser beroende på i vilket sammanhang man befinner sig. I detta avsnitt granskas betydelsen av PoC inom flera områden. Dessutom utreds speciellt betydelsen av så kallade go/no go milstolpar och dess inverkan på PoC-prototyper. I avsnitt 3.3 diskuteras betydelsen av konceptbegreppet och problematiken med att rakt av applicera PoC som verktyg på detta begrepp. Diskussionen utmynnar slutligen i ett förslag på en definition av PoC inom området för detta arbete.*

### 3.1 Proof-of-concept inom andra områden

Proof-of-concept som begrepp är inte entydigt definierad. Det har en rad olika betydelser beroende på vilket område som avses. Inom mjukvaruutveckling betyder begreppet ett PoC-system som avser att beskriva specifika utvecklingsprocesser och dess olika mål där syftet är att avgöra om systemen uppfyller de krav som ställts [8]. Här har man ofta många olika specifikationer som ska uppfyllas och som kan vara svåra att få grepp om tidigt i processen. Dessutom kan det vara så att kunden eller utvecklaren själv inte alltid vet exakt vad han vill ha förrän denne ser det färdiga resultatet. PoC-system under valda delar av utvecklingsprocessens gång kan då syfta till att kommunicera projektet på ett enklare sätt och därmed se till att kund och företag är på samma våglängd när det kommer till slutresultatet av projektet.

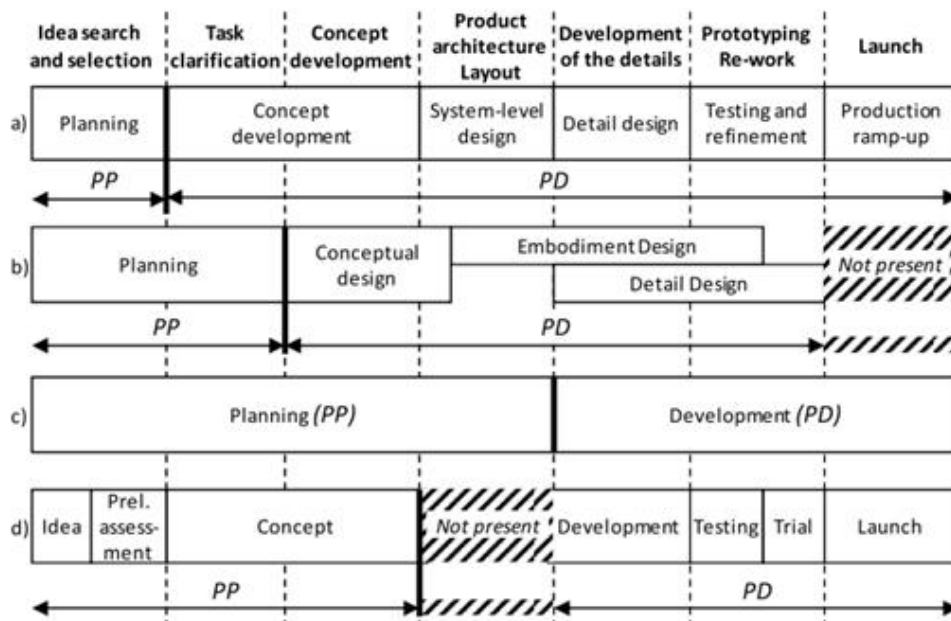
Inom affärsutveckling avser termen den demonstration nya företag genomför för att bevisa att en produkt är ekonomisk lönsam [9]. Här handlar det alltså återigen om att bevisa att en idé fungerar. Eftersom det intressanta inom affärsutveckling endast handlar om ekonomi blir PoC helt enkelt ett bevis på att idén är genomförbar utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

Som ytterligare exempel kan nämnas läkemedelsindustrin där PoC ofta avser de tester av läkemedel som utförs tidigt under läkemedelsutvecklingen och man delar då in processen i två faser där den första avser att visa att läkemedlet har några av de önskade effekterna. I den andra fasen använder man sig av fler testpersoner och avser att visa mer tydligt hur läkemedlet verkar [10]. Inom detta område bygger hela idén bakom PoC huruvida läkemedlet fungerar eller inte. PoC inom läkemedelsindustrin syftar därmed till att bevisa att produkten ger önskat resultat.

### 3.2 Go/no go milstolpar

Vanligtvis har man så kallade go/no go milstolpar under valda delar av produktutvecklingsprocessen där man fattar beslut om man ska gå vidare med projektet eller inte. Ofta sker detta i slutet på varje fas i produktutvecklingsprocessen.

Detta är speciellt viktigt att tänka på i de fall där man är beroende av ett positivt resultat från byggandet av en PoC-prototyp. Att starta upp en produktutvecklingsprocess är ofta kostsamt och man bör inte starta denna process ifall man löper risken att längre fram i processen tvingas lägga ner projektet. Här uppstår frågan om vilka och hur många aktiviteter man bör genomföra i planeringsfasen innan man väljer att gå vidare med själva produktutvecklingsfasen. Det finns här enligt Motte et al. [11] en konflikt mellan olika produktutvecklingsmodeller där vissa modeller väljer att infoga konceptutvecklingsarbetet redan i planeringsfasen medan andra modeller infogar det i produktutvecklingsfasen. Skillnaden mellan ett antal modeller åskådliggörs i Figur 3.1.



**Figur 3.1.** Jämförelse mellan planerings- och produktutvecklingsmodeller från konstruktionslitteraturen: a) Ulrich och Eppingers *Product Design and Development* [2], b) Pahl och Beitz *Engineering Design: A systematic Approach* [6], c) Wheelwright och Clark *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency and Quality* [5], d) Cooper, *Predevelopment activities determine new product success* [12]. I figuren är PP en förkortning på produktplanering och PD produktutveckling. [11]

Det är rimligt att konstatera att de olika modellerna lämpar sig olika bra beroende på vilken typ av produkt man vill utveckla. I de fall där man vill utveckla en produkt där man känner sig säker på att inga oförutsedda problem kommer att dyka upp senare under produktutvecklingen kan man mycket väl välja att starta produktutvecklingsprocessen innan man är färdig med konceptutvecklingen. Dock kan det bli mycket kostsamt för ett företag om detta startar produktutvecklingsprocessen innan man är säker på att de tekniska lösningarna man

planerar att använda sig av fungerar. Ulrich och Eppinger [2] ger i **Tabell 3.1** exempel på olika kostnader sammankopplade med att utveckla en produkt.

	Stanley tools	Rollerblade	Hewlett-Packard	Volkswagen	
	Jobmaster	In-line	DeskJet	New Beetle	Boeing 777
	Screwdriver	Skate	Printer	Automobile	Airplane
<b>Annual production volume</b>	100,000 units/year	100,000 units/year	4 million units/year	100,000 units/year	50 units/year
<b>Sales lifetime</b>	40 years	3 years	2 years	6 years	30 years
<b>Sales price</b>	\$5	\$150	\$130	\$20,000	\$260 million
<b>Number of unique parts (part numbers)</b>	3 parts	35 parts	200 parts	10,000 parts	130,000 parts
<b>Development time</b>	1 year	2 years	1.5 years	3.5 years	4.5 years
<b>Internal development team (peak size)</b>	3 people	5 people	100 people	800 people	6,800 people
<b>External development team (peak size)</b>	3 people	10 people	75 people	800 people	10,000 people
<b>Development cost</b>	\$150,000	\$750,000	\$50 million	\$400 million	\$3 billion
<b>Production investment</b>	\$150,000	\$1 million	\$25 million	\$500 million	\$3 billion

**Tabell 3.1.** Egenskaper hos fem olika produkter och associerade produktutvecklingsinsatser. Adapterad av Ulrich och Eppinger.

Eftersom kostnaderna kan bli mycket stora när man väl startat produktutvecklingen bör man således bygga PoC-prototyper redan i planeringsfasen innan själva produktutvecklingsprocessen startar. Detta gäller alltså i de fall man utvecklar produkter där tekniska problem behöver lösas innan man går vidare.

### 3.3 Diskussion

Gemensamt för alla betydelser av PoC inom alla områden - inklusive ingenjörsföretag - är naturligtvis att man strävar efter att bevisa att idén man har går att förverkliga med avseende på det som är avgörande för utvecklingsprocessen inom respektive område. Det som dock kan ställa till problem med definitionen är själva begreppet koncept. I kapitel 2 konstaterades att Ulrich och Eppinger [2] definierade ett produktkoncept som en ungefärlig beskrivning av teknologin hos produkten, hur produkten fungerar principiellt samt dess form. Man kunde även se att Ullman beskrev ett produktkoncept som en idé som är tillräckligt utvecklad för att man ska kunna utvärdera de fysikaliska egenskaper som styr dess beteende. Bägge definitionerna är allmängiltiga, vilket kan föranleda till att betydelsen av PoC som begrepp blir något diffus då man inte alltid behöver bevisa att ett koncept fungerar. Det är helt enkelt inte alltid nödvändigt att bygga en PoC-prototyp. Dessutom omfattar begreppet *koncept* enligt Ulrich och Eppingers definition ovan även formen på produkten, men en prototyp som avser att ta reda på om formen är lämplig eller inte är enligt Ulrich och Eppinger ingen PoC-prototyp utan en "form only"-prototyp [2, sid 231]. Det övergripande problemet ligger i att abstraktionsnivån på begreppet *koncept* är hög då det kan betyda i princip vad som helst och omfatta en mängd av olika idéer. Samtidigt är det inte lämpligt att ha en hög abstraktionsnivå på PoC som begrepp utan det bör vara väldefinierat.

Eftersom detta examensarbete är skrivet av en blivande ingenjör görs begränsningen av PoC till att omfattas av ingenjörsföretag. Eventuellt skulle man ha kunnat benämna PoC med ett begrepp som ligger närmare den nuvarande betydelsen; ett bevis på att en lösning av en teknologisk idé eller problem fungerar. Eller använda sig av andra, mer konkreta benämningar än just *koncept*. Inom ingenjörsföretag föreslås därför att PoC definieras som ett förverkligande av en viss metod eller idé för att visa att denna är genomförbar. Det är också en demonstration vars syfte är att verifiera att en metod teori, eller idé går att genomföra. I praktiken innebär detta att en PoC-prototyp bör framställas för att genomföra demonstrationen någon gång under planerings- eller konceptutvecklingsfasen.

Det bör än en gång understrykas att många koncept eller idéer inte behöver bevisas genom byggandet av en PoC-prototyp. Ofta kan produkten vara av sådant slag att det inte behövs. Exempel på detta kan vara om produkten som ska utvecklas endast är en inkrementell förbättring av en redan existerande produkt eller där existerande teknik redan är väl beprövad.

Vad som avgör huruvida man ska bygga en PoC-prototyp bestäms alltså i första hand av produktens innovationsgrad, men även erfarenhet, tekniskt kunnande och ekonomiska resurser inom ett företag spelar in. Utvecklar man en ny produkt med ny eller oprövad teknologi är det nödvändigt att bygga en prototyp för att se om den tekniska lösningen på konceptet fungerar som det är tänkt. Å andra sidan kan man tänka sig att en ny produkt med gammal eller beprövad teknologi inte behöver förverkligas genom en PoC-prototyp. Avvägningar måste dessutom göras utifrån ett ekonomiskt perspektiv. Är det ekonomiskt försvarbart att bygga en PoC-prototyp med en för företaget känd teknologi? Är det ekonomiskt försvarbart att bygga en eventuell resurskrävande prototyp om man inte är säker på att produkten kommer att bli framgångsrik?

Utifrån ett ekonomiskt perspektiv är det dessutom viktigt att man inte bygger PoC-prototyper på system där det inte behövs. Man bör i den mån det är möjligt begränsa sig till de delproblem man är intresserad av att utreda. Detta för att hålla kostnaderna nere.

Inom litteraturen anses ofta PoC definieras av att en PoC-prototyp är av fysisk natur som inte omfattas av analytiska modeller [2-4]. Många företag använder sig idag till stor del av analytiska modeller istället för att bygga prototyper, men det bör poängteras att då en analytisk modell förvisso ofta mycket exakt kan representera det den avser att representera är det tveksamt om den exakt kan representera en fysisk produkt med tillhörande verifiering av dess funktionalitet. Detta är inte på något sätt självklart utan kan diskuteras. Går det att helt beskriva ett fysikaliskt fenomen analytiskt? Moderna analytiska modeller kan vara mycket verklighetstroga, vilket kan föranleda till förhoppningen att det är möjligt att korrekt representera ett teknologiskt problem analytiskt, men man bör vara medveten om att då det handlar om fysikaliska fenomen behövs i regel fysiska betraktelser. Det är därför rimligt att anta att en analytisk representation inte bör omfattas av begreppet PoC.

Med avseende på vad som redogjorts hittills om PoC är det lämpligt att sammanfattningsvis göra en omfattande definition av begreppet inom ramen för detta examensarbete som omfattar teknikföretag för ingenjörer. De begränsningar som görs är att produkten i fråga är av diskret natur och utvecklas på ett ingenjörsföretag. En diskret produkt är i korthet en produkt som går att räkna i heltal. Olja, papper, tyg eller mjukvara är av kontinuerlig natur och omfattas t.ex. därmed inte av dessa avgränsningar. PoC syftar då till att bevisa att en idé eller metod är tekniskt genomförbar i praktiken. Detta sker genom byggandet av en fysisk prototyp. PoC-prototyper byggs med så billiga och lättillgängliga material som möjligt eftersom man vill minimera kostnaderna. Därtill bygger man dessutom endast de delsystem hos produkten man är intresserad av.

För att ytterligare utreda PoC görs i nästa kapitel en djupare genomgång av prototyper.

## 4 Prototyper

*Det finns väldigt mycket skrivet i litteraturen om prototyper. I detta avsnitt görs först en introduktion till prototyper och därefter beskrivs vilka anledningar det kan finnas bakom framställningen av prototyper. Därefter analyseras hur de författare vars processmodeller tidigare granskats valt att klassificera olika typer av prototyper i utvecklingsprocessen. Vidare redovisas en fallstudie av en PoC-prototyp och slutligen förs en diskussion om vad man bör tänka på när det gäller prototyper i allmänhet och PoC-prototyper i synnerhet.*

### 4.1 Allmänt om prototyper

Man kan i grunden se en prototyp som ett tidigt utförande av ett koncept. Prototyper kan sträcka sig från enkla 2D-skisser som representerar ett sorts designtänkande [13-15] till mockups till sofistikerade 3D-modeller gjorda med rapid prototyping som är så verklighetstroga att de kan vara svårt att skilja dem från en tillverkad produkt.

Det finns vidare en omfattande samling av verk som beskriver hur skissning är ett designspråk, ett sätt att uttrycka ett designtänkande [15-16]. På samma sätt kan byggandet av 3D-prototyper också betraktas som en typ av designspråk i den meningen att den representerar och förkroppsligar designidéer. Emellertid kräver skapandet av dessa prototyper en uppsättning färdigheter och tid som inte behövs vid skissning för hand. Det behövs stora resurser även om man använder sig av enkla material, i förhållande till skissning för hand.

Traditionella fysiska prototyper har i takt med att analytiska metoder utvecklats till viss del ersatts av datorstödda analyser där man använder 3-D-modeller och finita element- och liknande beräkningsmetoder [3]. Anledningen till detta är naturligtvis att fysiska prototyper kan bli mycket kostsamma och tidskrävande när det gäller utveckling av produkter där man behöver göra komplicerade beräkningar, t ex inom områden som omfattar magnetfält, aerodynamik och spänningsberäkningar. Det finns däremot områden där analytiska metoder inte kan ersätta fysiska prototyper. Dess syfte och utformning varierar mycket beroende på vilken typ av produkt som tillverkas och vilka frågor man vill ha svar på. Holt och Radcliffe [17] beskriver produktutvecklingsprocessen som en inlärningsprocess där en avsevärd stor del går ut på att definiera de frågor eller problem som måste besvaras och lösas. Det ursprungliga designproblemet är helt enkelt utgångspunkten för inlärningsprocessen. Ur detta perspektiv blir prototyper ett hjälpmedel till att bestämma och justera fokus på designproblemet och ett explorativt verktyg där oväntade problem kan uppkomma från byggandet av prototyper.

Enligt Barkan och Iansiti [18] är prototyper verktyg för att snabbt nå kunskap i alla delar av produktutvecklingsprocessen. Prototyper syftar till att fungera som inlärningsverktyg såväl som verktyg för testning och kommunikation. Att tillverka



prototyper under hela utvecklingsprocessen hjälper till att minimera kostnader som kan uppstå till följd av att man annars missar fel i designen av produkten.

### 4.2 Kategorisering av prototyper

Fysiska prototyper kan beskrivas av tre grundläggande typer enligt Barkan och Iansiti och är baserade på syfte och tanke bakom konstruktionen.

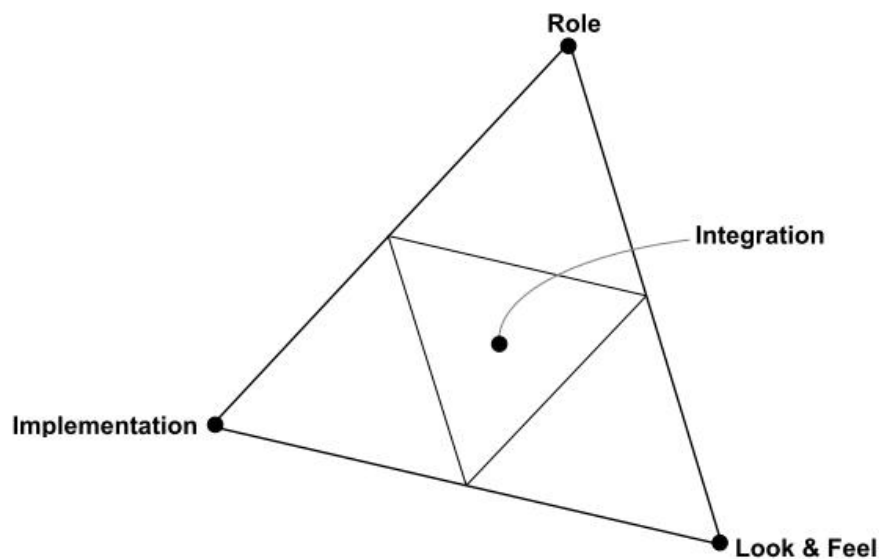
- Mock-ups som används för planering av förprojekt, produktdefiniering, klargörande av koncept, kommunikation av koncept, produktbedömning och kostnadsanalyser.
- Delsystemprototyper som syftar till att hjälpa till vid konceptval, koordinera grupper, bekräfta att rätt process och produkt valts och integrerats på rätt sätt, feasibility-studier och problemidentifiering.
- Helsystemprototyper som används för att utreda hur produktens system interagerar med varandra och hur kvalitén på den färdiga produkten kommer att bli.

Amerikanska National Research Center [19] har på liknande sätt delat in fysiska prototyper i fyra olika kategorier med avseende på var i produktutvecklingsprocessen man befinner sig, PoC, proof-of-product, proof-of-process och proof-of-production.

Prototyper inom maskinteknikområdet ses ofta i termer av deras produktionsteknologi. Många traditionella tillverkningstekniker såsom maskinbearbetning, gjutning och formning används i [20].

En prototyp kan vidare bli karakteriserad av hur exakt eller hur realistisk den är. Byggandet av en prototyp är ofta en avvägning mellan realism å ena sidan och tid och kostnader å andra sidan. Det optimala är att man väljer den billigaste prototypen, men som ändå fungerar på ett bra sätt med avseende på de frågor konstruktören vill ha svar på [21]. T.ex. är det onödigt att bygga en fullt fungerande prototyp i något dyrt material om man kan bygga en enkel delmekanism med ett billigt material om den senare ändå ger ett fullgott svar på de frågor man vill ha svar på.

Prototyper kan också betraktas med avseende på dess syfte, eller de frågor de avser att besvara hävdar bl.a. Ullman [3] och Houde och Hill [22]. De kan vara fysiska prototyper eller analytiska modeller som syftar till att hjälpa till att svara på specifika frågor om produktens utformning i olika skeden av processen. Houde och Hill föreslår i Figur 4.1 en triangelmodell som försöker beskriva en prototyp just med avseende på dess syfte, snarare än dess attribut.



**Figur 4.1.** Triangelmodell som beskriver de grundläggande syften prototyper kan tänkas ha.

Varje hörn representerar här tre fundamentala kategorier av designproblem.

- *Role* avser frågor som handlar om hur produkten vill tjäna användaren.
- *Look and Feel* berör frågor som undersöker vad användaren ser, hör och känner när denne interagerar med produkten.
- *Implementation* behandlar frågor om produkten med avseende på hur produkten ska fungera. I detta ingår tekniska lösningar och komponenter som behövs för att produkten ska fungera på rätt sätt.

I de fall som prototyperna endast har ett syfte hamnar de i hörnen av triangeln. Ofta har prototyper flera olika syften och hamnar då längs kanten på triangeln. T.ex. kan en prototyp byggas som en PoC-prototyp där dess funktion studeras samtidigt som man också använder prototypen till att få en uppfattning om vilka dimensioner som ska användas.

Den mittersta regionen, benämnd *integration*, representerar en kombination av alla de tre huvudkategorierna. Dessa prototyper avser att besvara frågor som berör övergripande design och kompletta användarupplevelser.

Att fokusera på prototypens syfte leder enligt Houde och Hill till att konstruktörer lättare kan fatta beslut som berör vilka verktyg som ska användas och vilka prototyper som ska byggas.

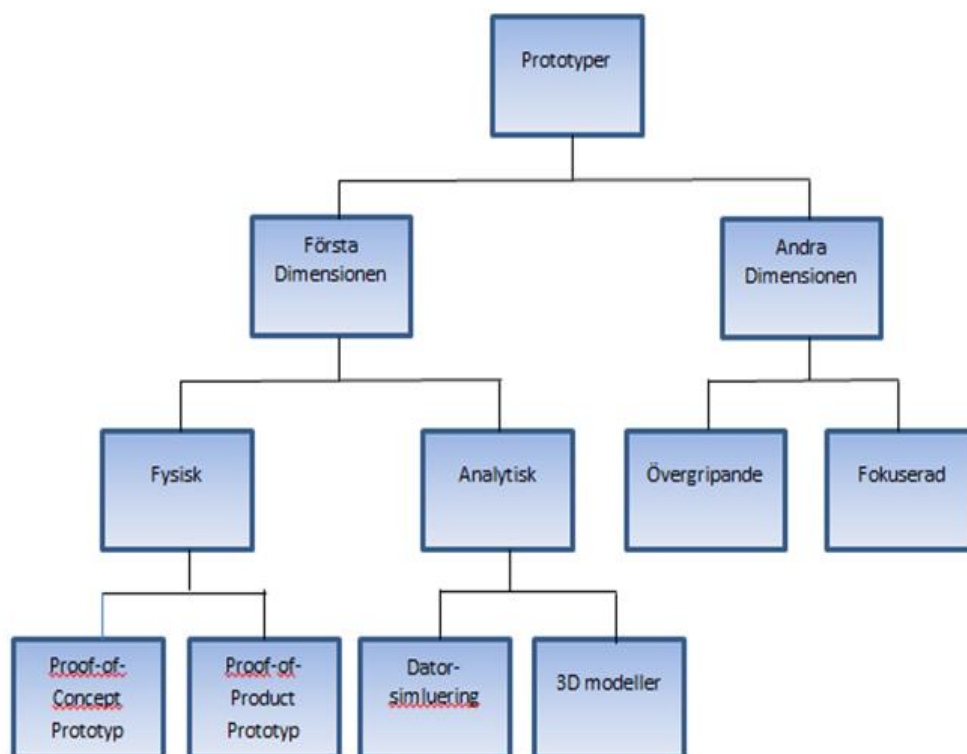
### 4.3 Klassificering av prototyper enligt Ulrich och Eppinger

I varje steg av konceptgenereringsfasen framställs modeller och prototyper av olika slag. Ulrich och Eppinger definierar prototyper som en approximation av produkten längs en eller flera dimensioner som är av intresse för designteamet. Ulrich och

Eppinger menar att en klassificering av prototyper i två dimensioner med fördel kan användas. Den första dimensionen fokuserar på om prototypen är fysisk eller om den är av analytisk natur. Den fysiska prototypen är ett materiellt, konstgjort föremål som ska representera någon aspekt hos produkten. Dessa kan i sin tur fylla olika sorters funktioner. Det kan handla om "form-only" prototyper som syftar till att ge kunder en uppfattning om hur den färdiga produkten kan se ut, PoC prototyper som här syftar till att snabbt testa en idé och experimentella modeller som syftar till att validera en produkts övergripande funktionalitet.

Omvänt är en analytisk prototyp en konceptuell, ofta visuell eller matematisk, representation av någon aspekt hos produkten. Dessa inkluderar datorsimuleringar och modeller i 3D-program.

Den andra dimensionen fokuserar på till vilken grad prototypen fyller sin funktion. En prototyp kan vara av omfattande karaktär, en fullskalig version av produkten där alla funktioner representeras eller så kan den vara fokuserad på en eller ett fåtal funktioner hos den slutgiltiga produkten.



**Figur 4.2.** Indelning av prototyper enligt Ulrich och Eppinger.

Dessutom kan man enligt Ulrich och Eppinger dela in prototyper efter deras syfte i produktutvecklingsprocessen. Fyra stycken syften identifieras; lärande, kommunikation, integrering och milstolpar.

#### 4.4 Klassificering av prototyper enligt Ullman

Ullman diskuterar i planeringsfasen hur man bör använda sig av modeller och prototyper i produktutvecklingsprocessen. Var och en av dessa modeller eller prototyper representerar den information som beskriver produkten. Ullman skriver med avseende på detta att "Design is the evolution of information punctuated by decisions." [2, sid 117]. Syftet med att bygga modeller och prototyper är alltså inte bara att beskriva produkten på ett bra sätt utan även att samla information om produkten. På så sätt kan man få en ökad förståelse för produkten allt eftersom utvecklingsprocessen går framåt och därmed göra det enklare att se vilka förbättringar eller förändringar som behöver göras.

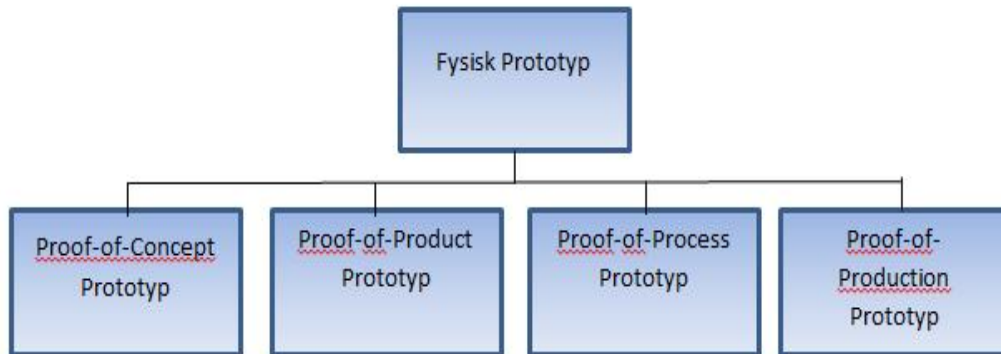
Ullman presenterar fyra klasser av fysiska prototyper. De klassificeras dels efter vilken funktion prototypen har, i vilket stadium i produktutvecklingscykeln man befinner sig samt vilket medium som använts för att bygga modellen. Prototypens funktion förändras alltså beroende på var i processen man befinner sig.

I det initiala skedet av designprocessen används en PoC eller proof-of-function modell för att man ska kunna utveckla produktens funktioner och utreda om dessa svarar mot kundens krav och andra tekniska specifikationer. Syftet är att man ska sträva efter att få en bättre förståelse för den fortsatta designprocessen och för att klargöra vilka designmål som man bör ha. PoC-prototyper används alltså enligt Ullman i första hand som ett verktyg för att inhämta information. Eftersom man i detta skede av utvecklingsprocessen inte är så intresserad av produktens exakta fysiska egenskaper - vilken typ av material som bör användas eller vilka tillverkningsprocesser som är optimala i detta skede - kan man bygga prototyperna med material från i princip vad som helst. Lämpligen med något material som finns nära till hands.

I ett senare skede av utvecklingsprocessen används en proof-of-product (PoP) prototyp vars uppgift är att utreda vilka fysiska egenskaper, komponenter och monteringsmetoder som behövs för tillverkning av produkten. Med utvecklingen av så kallad "rapid prototyping" där man t.ex. använder sig av stereolitografimodeller för att snabbt bygga en prototyp från en CAD-modell har man på senare år kunnat minska tid och kostnader avsevärt när det gäller att bygga PoP-prototyper.

I ett ännu senare skede används en proof-of-process prototyp som verifierar att materialen och tillverkningsprocesserna resulterar i önskad produkt. För dessa prototyper använder man sig av samma material som den slutliga produkten består av.

Slutligen används en proof-of-production prototyp vars uppgift är att verifiera att hela produktionsprocessen fungerar.



**Figur 4.3.** Indelning av prototyper enligt Ullman

På samma sätt som de fysiska prototyperna delas även de icke-fysiska modellerna in beroende på funktion och var i processen man befinner sig. Traditionellt består de av ritningar såsom enkla skisser som kan fungera som minnesanteckningar vid konceptgenerering såväl som mer formella ritningar allt eftersom produkten tar form. Layoutritningar som fokuserar på en komponents övergripande form och syftar till att ge en förklaring av anordningen och dess konstruktion. Detaljritningar där alla dimensioner och dess toleranser uppges och där material och tillverkningsdetaljer specificeras. Detaljritningar är den slutgiltiga representationen av konstruktionsarbetet och används som kommunikationsmedel med de som tillverkar produkten. Vidare finns assemblyritningar som syftar till att förklara hur olika komponenter fungerar sinsemellan.

Utöver de traditionella ritningarna har man även grafiska modeller i CAD-system. Gränsen mellan layout-, detalj- och assemblyritningar är i dessa system inte helt entydiga.

Slutligen kan man representera en modell med hjälp av analytiska modeller av olika slag. Ett mått på noggrannheten av en simulering brukar benämnas som den analytiska modellens trovärdighet. Grova beräkningar har låg trovärdighet medan detaljerade beräkningar som t.ex. FEM-analyser har hög trovärdighet.

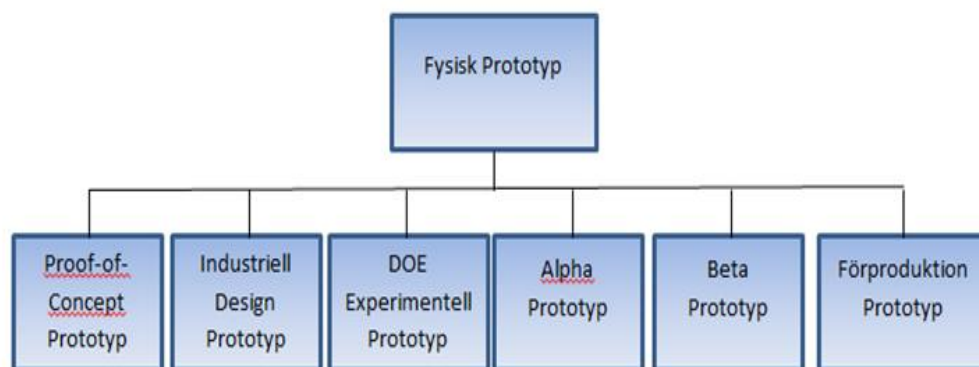
Att välja modell handlar i hög grad om avvägningar. Ju noggrannare representation, desto bättre verifiering av produktens funktioner. Samtidigt innebär detta en ökad kostnad i tid och pengar. Fysiska prototyper är i regel dyrare än datormodeller vilket har gjort att allt fler företag gått över till analytiska modeller. Dessutom ska man komma ihåg att den tänkta produktens specifikationer och den faktiska prototypen inte alltid stämmer överens.

Ett viktigt beslut att ta under planeringsfasen är att avgöra hur många och vilka modeller eller prototyper som man ska bygga under produktutvecklingsprocessen. Det är för övrigt därför Ullman väljer att diskutera modeller och prototyper under kapitlet som behandlar planeringsfasen. Antalet beror ofta på företagskulturen och förmågan att producera användbara prototyper snabbt. Det är i detta skede viktigt att man sätter upp realistiska mål för hur lång tid det kommer att ta att bygga

prototyperna samt den tid det tar att ta till sig information från dessa. Har man ett för snävt tidsschema kan detta innebära att man hinner bygga en prototyp utan att all relevant information kommit till känna från föregående prototyp.

#### 4.5 Klassificering av prototyper enligt Otto och Wood

Otto och Woods klassificering av prototyper avser moderna produktutvecklingsprocesser inom industrin. De syftar till att återge de trender som för närvarande förekommer, dvs. klassificeringen är baserad på de prototyper som faktiskt används i industrin. Otto och Wood beskriver sex olika grupper av fysiska prototyper som baseras på vad man har för syfte med dem.



**Figur 4.4.** Indelning av prototyper enligt Otto och Wood

PoC-prototyper byggs för att besvara specifika frågor man har om produkten som har att göra med dess funktionalitet. Vanligtvis använder man sig av enkla och lättillgängliga material där man fokuserar på en specifik detalj eller delsystem hos produkten. De tillverkas efter konceptgenereringen, oftast vid tidpunkten där man väljer vilket eller vilka koncept som man ska gå vidare med under produktutvecklingsprocessen. Allmänt kan man säga att PoC-prototyper besvarar frågor som handlar om huruvida de tekniska funktionerna kan överföras från koncept på papper till verklig produkt och om det under denna överföring uppkommer några oförutsedda tekniska problem.

Industriella design-prototyper avser att ge en uppfattning om hur produkten kommer att se ut och kännas. Ofta tar man fram flera olika prototyper för att på så sätt avgöra vilken man ska gå vidare med. De är därför i regel tillverkade av enkla material utan några funktionella komponenter för att hålla kostnaden nere.

Design of experiments (DOE) experimentella prototyper fokuserar på att ta fram empiriska data som syftar till att parametrisera eller forma delsystem hos en produkt. Denna prototyp tillverkas av samma material och geometri som den slutgiltiga produkten för att på ett så tillfredställande sätt som möjligt efterlikna den färdiga produktens fysiska egenskaper. Samtidigt behöver inte alla delar hos prototypen likna

den färdiga produkten utan endast de delsystem som behöver optimeras. På så sätt håller man prototypkostnader låga.

Alpha-prototyper besvarar frågor man har om produktens övergripande utformning. De tillverkas med samma material och geometri som förväntas ingå i den färdiga produkten. Dessa prototyper är de första där delsystemen sätts samman. Ofta inkluderas även funktioner som gör det möjligt att testa produktens övergripande system.

Beta-prototyper är fullskaliga, funktionella prototyper av en produkt som tillverkas av samma material som den färdiga produkten, men de tillverkas inte nödvändigtvis med hjälp av samma processer som den färdiga produkten.

Förproduktion-prototyper är den sista kategorin av fysiska modeller. Dessa prototyper tillverkas genom samma processer som den slutgiltiga produkten. Ofta tillverkas man produkten i serie för att man på så sätt ska kunna säkerställa att kvaliteten på produkten är fullgod vid större volymer. Många företag försöker kombinera Beta-prototyper med denna prototyp för att på så sätt minska antalet prototyper.

### 4.6 Fallstudie

Horton och Radcliffe [1] beskriver i en artikel hur de fått i uppdrag att utveckla en prototyp för en maskin som ska kunna skörda ananasfrukter. Projektet började med konstaterandet att då både storleken och formen på ananasfrukten varierar avsevärt kunde man inte designa koncept på papper eller använda sig av analytiska modeller. Istället var man tvungen att använda sig av fysisk modellering och byggandet av en PoC-prototyp. Man utgick från den traditionella plockningen av ananasfrukter på fälten och försökte dela in de olika momenten i underproblem: Avlägsnande av frukten från plantan; orientering av frukten; avlägsnande av kronan från ananasen; och hanteringen av frukt och krona efter ovanstående moment. Endast den konceptuella designen av avlägsnandet och orienteringen av frukten avhandlas i denna fallstudie.

De konceptuella idéer som man hade för att avlägsna ananasfrukten från plantan utforskades initialt genom att man helt enkelt satt och lekte med dem. Ur detta kunde man kategorisera momentet i två steg: Det första steget var att gripa tag om underdelen av frukten och det andra avlägsnandet av kronan genom en separat rörelse. Olika koncept rörande en justerbar hantering av fruktens oregelbundna former hade också utforskats. För att göra systemet så snabbt som möjligt kom man fram till att den bästa lösningen vore att systemet var kontinuerligt och undvek återgående rörelser.

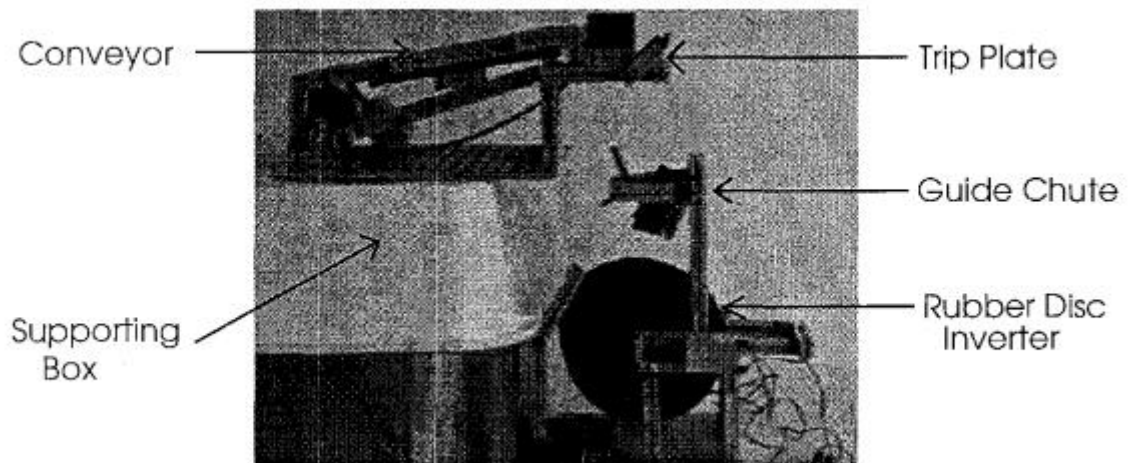
Den fysiska modellering som förekom i detta tidiga skede bestod av simulering av vilken metod som var bäst lämpad för att avlägsna kronan från frukten: Vridning av kronan relativt frukten; slå av kronan mot ett brytblock; skära av toppen; och en kastande rörelse genom att hålla fast kronan och snabbt deaccelerera frukten och på så sätt avlägsna den. Det sista konceptet valdes av flera olika anledningar. Brytytan blev godtagbar, metoden var lämplig för ett kontinuerligt system och den krävde inte en hög grad av positionering av frukten.

Den fysiska prototypen i detta skede var konstruktörerna själva. Deras egna handlingar blev så att säga modelleringens medium genom att de representerade konstruktionslösningarna på ett fysiskt sätt, men på en väldigt abstrakt nivå.



**Figur 4.5.** Skiss av konceptet för avlägsnandet av frukt från krona.

Detta koncept var sedan modellerat genom att man använde konstruktionsdelar från Fischertechnik. Mekanismen som valdes bestod av två bälten där kronan klämdes fast och sedan kastades av vid ett hörn. Detta gav grunden till maskinens geometri.



**Figur 4.6.** Prototyp-system konstruerad av Fischertechnikdelar.

När man var nöjd med hur konceptet såg ut skissades detaljerna sedan ner för att överföra dimensionerna till en fullskalig mekanism. De övergripande dimensionerna



var mer uppskattningar än någonting annat eftersom systemets funktionella delar var otestade. Vid byggandet av prototypen använde man sig av Unistrut som är ett standardiserat strukturellt system, vilket gjorde det möjligt att justera, avmontera och återanvända olika delar av prototypen.

När konstruktörerna började arbeta på den fullskaliga prototypen upptäckte man ett flertal problem som tidigare inte varit uppenbara eller övervägda. Framför allt visade det sig att ananasfrukterna inte betedde sig som man tidigare trott i systemet. Prototypens utformning justerades därför genom en rad modifikationer och man nådde till slut ett resultat som ansågs fungera.

Ovanstående fallstudie visar tydligt ett produktutvecklingsprojekt där Ulrich och Eppingers, Ullans och ett flertal andra modeller kan vara svår att applicera till punkt och pricka. I det här fallet handlade det om en helt ny otestad produkt med tekniska problem som inte gick att lösa teoretiskt. Exempelvis tar Ulrich och Eppingers indelning av produktutvecklingsprojekt i nya produktplattformar, derivat av befintliga produktplattformar, inkrementella förbättringar av befintliga produkter och fundamentalt nya produkter ingen hänsyn till vilken innovationsgrad som krävs eller vilka tekniska problem som kan uppkomma vid utvecklandet av produkten. Löser man inte de tekniska problem som kan uppkomma vid utvecklandet av en fundamentalt ny produkt kan detta innebära stora kostnader om man tvingas avbryta projektet.

### 4.7 Diskussion

Vad man först och främst bör tänka på när det gäller prototyper är att man inser syftet som ligger bakom aktiviteten. Det kan finnas många specifika anledningar till att bygga en prototyp, men speciellt två generella syften kan identifieras. Byggandet av en prototyp är ett *inlärningsverktyg* som avser att ge kunskap i alla delar av produktutvecklingsprocessen. Det är ett hjälpmedel till att justera fokus på projektet där oväntade problem eller eventuella möjligheter kan uppkomma från byggandet av prototyper.

Dessutom fungerar prototyper som ett *kommunikationsverktyg* där man gör det möjligt att lättare beskriva projektet för de som är inblandade.

Rent allmänt bör man också inse att byggandet av prototyper handlar till stor del om avvägningar. Ju noggrannare prototyp desto bättre verifiering av produktens funktioner får man och därmed bättre svar på de frågor man har. Samtidigt innebär detta ökade kostnader. Behöver man inte bygga en fysisk prototyp bör man använda sig av analytiska modeller då detta i regel innebär en minskad kostnad.

Dessutom bör man komma ihåg att man redan i planeringsfasen bör avgöra vilka och hur många prototyper man ska bygga. Extra viktigt blir planeringen av PoC-prototyper då man inte vill sätta igång produktutvecklingsprocessen med allt vad det innebär i kostnader innan man är säker på att man inte behöver skrota projektet.

Mer specifika frågor som man vill ha svar på har beskrivits med olika grad av noggrannhet av olika författare i tidigare avsnitt. Varken Ulrich och Eppinger eller Ullman påstår sig klassificera prototyper efter hur företag faktiskt använder sig av

prototyper i verkligheten. Inte heller täcker de in alla de frågor man kan tänkas ha om en produkt. Ulrich och Eppinger konstaterar visserligen att integrering av delsystem kan vara ett syfte som kan ligga bakom byggandet av en prototyp, men utvecklar inte detta vidare. Således får Ulrich och Eppinger och Ullman anses ha en bristfällig klassificering av prototyper. Företagen vet naturligtvis själva genom erfarenhet vilka prototyper som behöver byggas.

Otto och Wood anser sig däremot klassificera prototyper efter nuvarande trender hos företag. Det finns då sex grundläggande syften bakom byggandet av prototyper (se föregående avsnitt). Dessa sex prototyper får anses täcka in de väsentliga frågor man kan tänkas ha inför byggandet av en prototyp.

- PoC: Fungerar den tekniska lösningen som det är tänkt?
- Industriell design: Känns produkten rätt och har den rätt form?
- DOE experimentell: Är delsystemen optimerade?
- Alpha: Fungerar delsystemen tillsammans?
- Beta: Hur ser den färdiga produkten ut?
- Förproduktion: Fungerar tillverkningsprocesserna som de ska?

Som tidigare nämnts slår vissa företag ihop beta- och förproduktionsprototyper till en prototyp. Man kan argumentera för att det kan vara svårt att särskilja dessa prototyper då tillverkningen av den färdiga produkten ofta är sammankopplad med frågor om tillverkningsprocessen, men samtidigt kan det vara klokt att hålla isär de två prototyperna då det i vissa fall faktiskt inte behöver föreligga på det sättet. Dock är detta något som är bra att känna till.

Frågor om en produkts funktionalitet och tekniska lösningar är däremot något som är distinkt skild från övriga prototyper. Man löper därmed ingen risk att blanda ihop PoC-prototyper från övriga prototyper med denna klassificering.

Prototyper har inte i någon av de produktutvecklingsmodeller som studerats någon specifik plats. I Ulrich och Eppingers modell konstaterar man enbart att prototyper tillverkas under hela produktutvecklingsprocessen, men går inte in närmare på när eller under vilka faser man bör bygga olika prototyper.

Ullman betonar vikten av att redan i planeringsfasen klargöra och utreda vilka typer av prototyper man bör använda sig av under hela utvecklingsprocessen. Detta gör att man kan anpassa utvecklingsprocessen efter vilken typ av produkt man vill utveckla. Samtidigt utreds inte heller här mer specifikt vad det är man behöver göra.

Förklaringen till ovanstående beror sannolikt på samma orsak att Otto och Wood överhuvudtaget inte använder sig av någon generisk modell för produktutvecklingsprocessen. De anser att ordningen på de aktiviteter man ska utföra är starkt beroende av vilken typ av produkt man avser att utveckla.

En annan förklaring till att prototyper inte har något självklar specifik plats i de modeller som studerats i detta examensarbete är de sätt som författarna i konstruktionslitteraturen kategoriserar prototyper. Det finns helt enkelt för många olika definitioner av hur man ska använda sig av prototyper i allmänhet för att de ska vara möjligt att enkelt peka på en plats i modellen och där infoga olika typer av

prototyper. Modellerna i sig är ju teoretiska modeller som i generella steg avser beskriva lämpliga tillvägagångssätt för företag att utveckla en produkt. Att då kategorisera prototyper med avseende på syfte gör att problem uppstår med att lokalisera var i processen man behöver bygga en prototyp eftersom de frågor man vill ha svar på kan komma att uppstå vid flera tillfällen under processen. Prototyper blir då ett sorts övergripande begrepp istället för något specifikt.

Hade man definierat prototyper enbart utifrån var i produktutvecklingsprocessen man befinner sig hade det varit enklare att passa in prototyper i modellerna. Med utgångspunkt från den gjorda definitionen av PoC framkommer problemet att peka på en specifik plats där PoC-prototyper passar in i modellerna. De största anledningarna till detta är som framgår av Motte [11] att modellerna i sig skiljer sig markant från varandra och det som nämns av Otto och Wood [4] att arbetsgången i produktutvecklingsprocessen är beroende av vilken typ av produkt som ska utvecklas. De exempel Ulrich och Eppinger använder sig av för att illustrera sin modell är till stor del handplockade för att passa in i modellen, t.ex. inkrementella förbättringar av existerande produkter. Detta gör att ett företag som använder sig av denna modell kan sätta igång produktutvecklingsprocessen utan att riskera att råka ut för några tekniska problem längs vägen endast då det handlar om en produkt där man inte är beroende av ett positivt resultat av en PoC-prototyp.

Ett försök att redogöra för PoC-prototyper i produktutvecklingsprocessen görs ändå i nästa kapitel.

## 5 Syntes

*I detta kapitel görs en sammanfattning vad som hittills gjorts. Vidare ges ett förslag på PoC-prototypers plats i produktutvecklingsprocessen.*

### 5.1 Kort sammanfattning av vad som redogjorts för hittills

Vi har hittills valt ut och analyserat olika modeller för produktutvecklingsprocessen. De modeller som valts och analyserats är presenterade av Ulrich och Eppinger, David G. Ullman och Otto och Wood. Dessutom har vi fokuserat på deras definitioner av PoC samt vad de har skrivit om PoC i allmänhet.

Vidare har PoC studerats inom andra områden där PoC inom mjukvaruutveckling, affärsutveckling och läkemedelsindustrin studerats. Därefter har PoC som begrepp inom ingenjörsföretag diskuterats och en definition förslagits. Enligt denna definition syftar PoC till att bevisa, med hjälp av en fysisk prototyp, om en idé eller metod är tekniskt genomförbar i praktiken. Definitionen gäller för diskreta produkter.

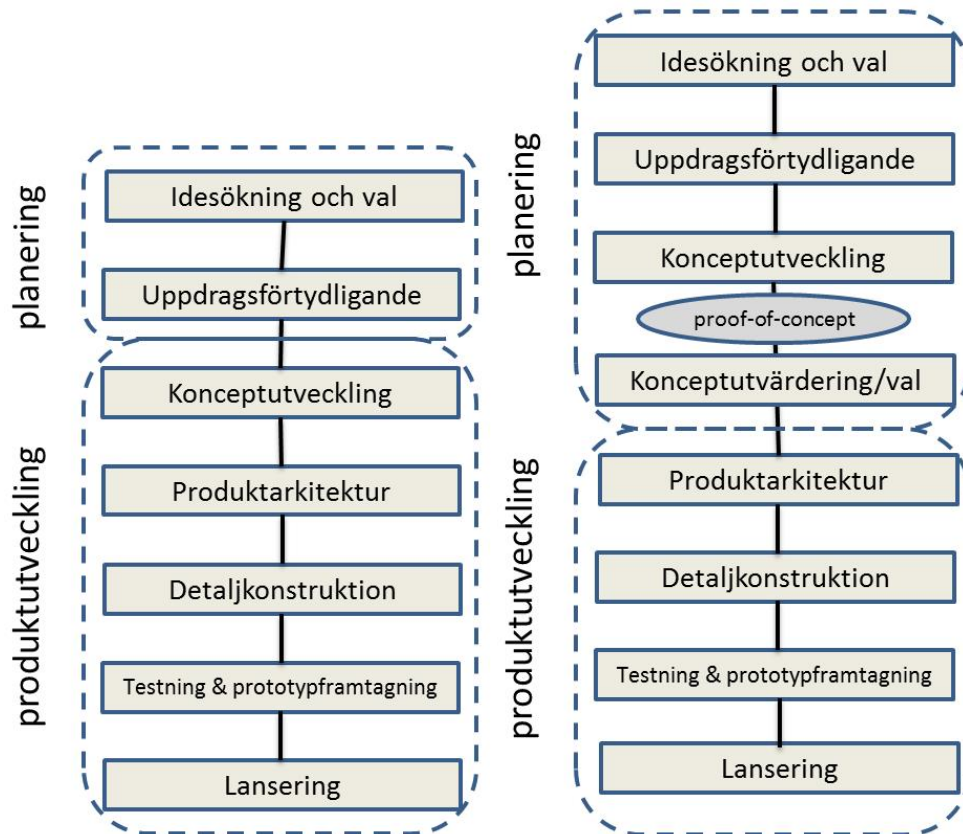
Utöver detta har en bred litteratursökning gjorts på begreppet prototyper och där utrett hur man ofta väljer att systematisera prototyper. Särskilt stor vikt har lagts på hur Ulrich och Eppinger, Ullman och Otto och Wood valt att klassificera prototyper i sina respektive böcker. Dessutom har ett antal förslag getts på vad man bör tänka på när det gäller PoC-prototyper.

### 5.2 Proof-of-concept i produktutvecklingsprocessen

Det har nämnts i föregående kapitel att det kan vara svårt att hitta en specifik plats för PoC i en generisk produktutvecklingsmodell. Om man däremot särskiljer produkten beroende på om man behöver bevisa att en metod eller idé är tekniskt genomförbar i praktiken eller inte detta blir det genast enklare att göra detta. Man får då två olika modeller som var för sig är beroende på vilken typ av produkt som ska tillverkas. Fallstudien i kapitel 4.6 visar ett tydligt exempel på en produkt som tillhör den första kategorin; en produkt där man behöver bevisa att produktens delsystem fungerar innan man går vidare i processen. Fallstudien visar en helt ny innovation med helt obekräftad teknik, men det bör poängteras att det även kan finnas anledning för företag att göra PoC-prototyper även om innovationsgraden är låg. Ett företag kan sakna den kompetens och erfarenhet som krävs för att avgöra om ett produktkoncepts funktioner fungerar i praktiken och kan därför ibland behöva tillverka PoC-prototyper även då detta inte alltid är självklart från början.

Ett förslag på en generisk modell där PoC-prototyp behövs samt en generisk modell för jämförelse där PoC inte behövs kan studeras i Figur 4.7. Modellen är inte tänkt att på något sätt ersätta existerande produktutvecklingsmodeller utan ska fungera som ett

pedagogiskt komplement för att bättre begripa PoC-prototypers roll i produktutvecklingsprocessen.



**Figur 5.1.** Förslag till övergripande produktutvecklingsmodell för produkt där PoC inte behöver användas (vänster) och övergripande produktutvecklingsmodell där PoC ska användas (höger).

I många fall behöver man inte använda sig av någon PoC-prototyp. I figur 4.7 (vänster) är de olika stegen i processmodellen övergripande och visar sju generella faser. Idésökning och val av projekt samt uppdragsförtydligande är de två första faserna och ingår i planeringsprocessen. Eftersom man här inte kommer att använda sig av någon PoC-prototyp riskerar man inte heller att projektet läggs ner p.g.a. något oförutsett tekniskt problem. Det är därför inte nödvändigt att ha konceptutvecklingsfasen redan i planeringsprocessen. Det har tidigare konstaterats att kostnaderna ökar då man väl sätter i gång produktutvecklingen.

I de fall där det finns ett behov av en PoC-prototyp blir situationen annorlunda. Här bör man ta hänsyn till det faktum att man eventuellt inte kommer att lyckas framställa en framgångsrik PoC-prototyp. Det är därför rimligt att man inte bör starta själva produktutvecklingsprocessen innan man med säkerhet kan konstatera att PoC-

prototypen gett ett tillfredsställande resultat. I ovanstående föreslagna modell ingår därför konceptutvecklingen, konceptutvärderingen och konceptvalet i planeringsprocessen.

Man bör enligt denna modell bygga PoC-prototyper i steget efter att konceptutvecklingen har ägt rum, men före konceptutvärderingen och konceptvalet. Att konceptutveckling och konceptutvärdering/konceptval i denna modell skiljts åt beror på att man utvecklar koncepten innan man framställer PoC-prototyper. Samtidigt väljer man inte vilket eller vilka koncept som ska gå vidare i processen innan man är säker på att PoC-prototypen faktiskt fungerar.

Det ska tilläggas att det ibland räcker med att ett koncept fungerar, exempelvis när problemet har varit komplicerat. I det fallet behövs då inget konceptval.

Det är inte nödvändigt att alltid utveckla koncept till fullo för att kunna verifiera dess funktioner genom framtagning av prototyper eller utvärdering av resultatet. Ofta är man endast intresserad av att konstatera att vissa delsystem hos produkten fungerar i praktiken. Det är därför att föredra att man bygger PoC-prototyper som endast representerar det man avser att bevisa, de kritiska delarna, vilket minskar kostnaderna. Man kan således ibland välja att utveckla koncepten ytterligare efter det att man konstaterat att delsystemen går att överföra från koncept till verklig produkt.

Här uppstår frågan om vad man bör göra om PoC-prototypen inte ger ett önskat resultat. Ska man gå tillbaka till att försöka utveckla ett nytt fungerande koncept eller bör man lägga ner projektet? Detta är naturligtvis en avvägningsfråga där ekonomiska faktorer kombinerat med möjligheterna att i ett förändrat koncept uppnå ett positivt resultat av problemet som man vill lösa. Generellt kan man säga att ju gedignare arbete man gör under planeringen av projektet desto mindre risk löper man att senare under processen stöta på problem som kan leda till ökade kostnader eller rent av nedlagda projekt. Detta är särdeles viktigt att tänka på vid utvecklingen av koncept vars funktioner senare behöver verifieras genom en PoC-prototyp.

Avslutningsvis upprepas den föreslagna definitionen av PoC. PoC definieras som ett bevis av en idé eller metod som är tekniskt genomförbar i praktiken. Detta sker genom byggandet av en fysisk prototyp. PoC-prototyper byggs med så billiga och lättillgängliga material som möjligt och endast de delsystem hos produkten man är intresserad av byggs. Detta för att minimera kostnaderna. De avgränsningar som görs för definitionen är att produkten i fråga är av diskret natur och utvecklas från ett ingenjörsföretag.

## Referenser

- [1] Horton, Glen I och Radcliffe, David F (2007) Nature of Rapid Proof-of-concept Prototyping, Department of Mechanical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Queensland, 4072, Australia.
- [2] Ulrich, Karl T och Eppinger, Steven D (2012) Product design and development, McGraw-Hill/Irwin, Boston.
- [3] Ullman, David G (2010) The mechanical design process, McGraw-Hill/Irwin, New York.
- [4] Otto, Kevin N och Wood, Kristin L (2001) Product design: Techniques in reverse engineering and new product development, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [5] Wheelwright, S. C. (1992). Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality. SimonandSchuster.com.
- [6] Pahl, G and W. Beitz; edited by Wallace, K (1996) Engineering design: a systematic approach, Springer, Berlin.
- [7] Motte, D. (1995). On the Fundamentals of the Design Process, s5.
- [8] Microsoft. Hämtad 16 december 2013 från: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc168618.aspx>
- [9] Techopedia. Hämtad 16 december 2013 från: <http://www.techopedia.com/definition/4066/proof-of-concept-poc>.
- [10] Downing, G. J. (Ed.). (2000). Biomarkers and Surrogate Endpoints: Clinical Research and Applications: Proceedings of the NIH-FDA Conference Held on 15-16 April 1999 in Bethesda, Maryland, USA (No. 1205). Elsevier Health Sciences, s3-9
- [11] Motte, D., Bjärnemo, R., och Yannou, B. (2011). On the Interaction between the Engineering Design and the Development Process Models—Part II: Shortcomings and Limitations. *Research into Design-Supporting Sustainable Product Development (ICoRD'11)*, 96-103.
- [12] Cooper, R. G. (1988). Predevelopment activities determine new product success. *Industrial Marketing Management*, 17(3), 237-247.
- [13] Ullman, D G, Wood, S and Craig, D (1990). The importance of drawing in the mechanical design process, *Computers & Graphics*, Vol 14 No 2, s263-274.
- [14] Goel, V (1995) Sketches of thought, MIT Press, Cambridge, MA.

- 
- [15] Suwa, M and Tversky, B (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis, *Design Studies*, Vol 18 No 4, s385-403.
  - [16] Cross, N (1999). Natural intelligence in design *Design Studies* Vol 20 No 1 s25-39.
  - [17] Holt, J.E and Radcliffe, D.F. (1991). Learning in the organizational and personal design domains, *Design Studies*, 12, s142-150.
  - [18] Barkan, P. and Iansiti, M. (1993). Prototyping: a tool for rapid learning in product development, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 1, s125-134.
  - [19] National Research Council (1990). Panel report on rapid prototyping (Washington DC, National Academy Press)
  - [20] Kiefer, S, Silverberg, L och Gonzalez, M (2004) A case study of prototyping methods and design for manufacture: electrostatic window blinds, *Journal of Engineering, Design*, Vol 15 No 1, s91-106.
  - [21] Dijk, L, Vergeest, J S M och Horváth, I (1998) Testing shape manipulation tools using abstract prototypes *Design Studies* Vol 19 No 2, s187-201.
  - [22] Houde, S och Hill, C (1997). What do prototypes prototype? Apple Computer, Inc. Cupertino, CA, USA
  - [23] Saarland University: Hämtad 16 december 2013 från:  
[http://iss.uni-saarland.de/workspace/documents/ivm-8\\_planning-product-features.pdf](http://iss.uni-saarland.de/workspace/documents/ivm-8_planning-product-features.pdf)