

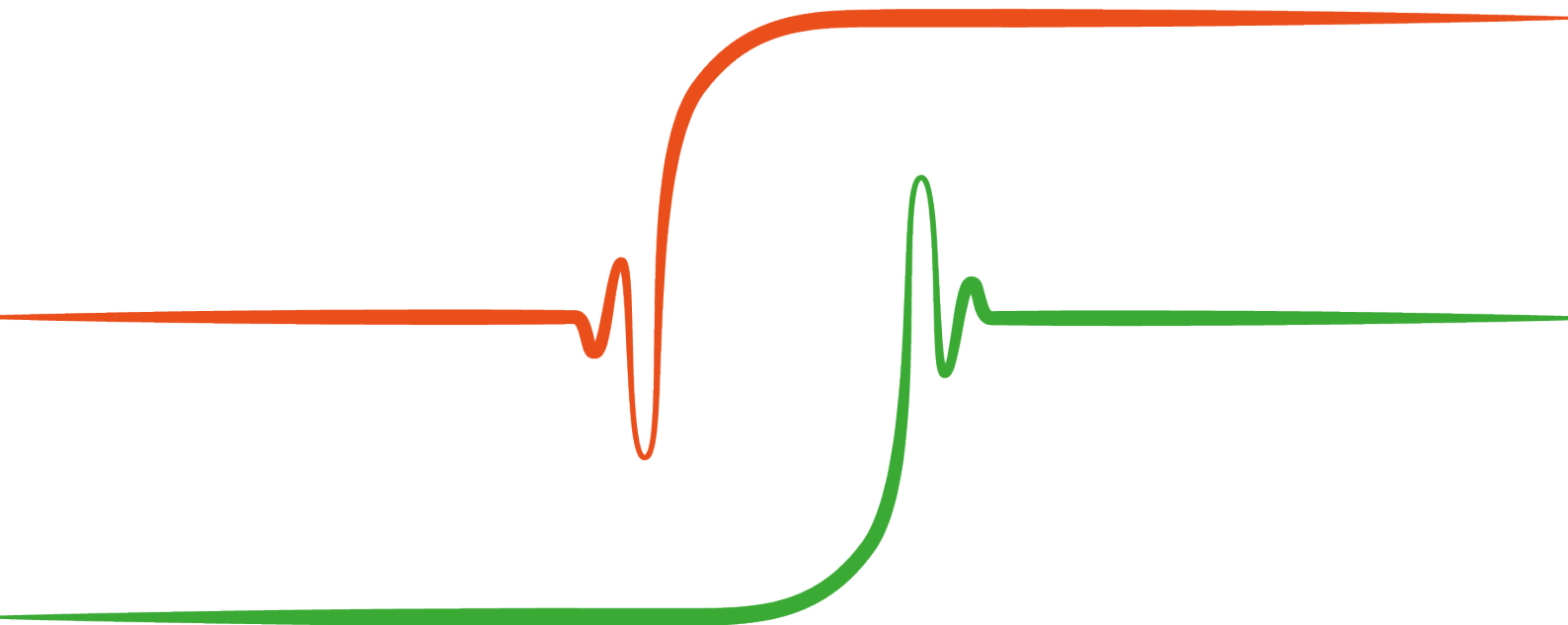


EXAMENSARBETE INOM TEKNIK,  
GRUNDNIVÅ, 15 HP  
*STOCKHOLM, SVERIGE 2017*

# Visualisering av signalfilter

Tillämpningar inom undervisning

**MARCUS GROTH**



# Visualisering av signalfilter

## Tillämpning inom undervisning

Marcus Groth  
CSC, Skolan för Datavetenskap och Kommunikation KTH  
Stockholm, Sverige  
magroth@kth.se

### Sammanfattning

Visualisering har vid flertaliga tillfällen visats användbart och effektivt inom undervisning, särskilt för att ge studenter en intuitiv förståelse för abstrakta ämnen och problem. Studiens syfte är att undersöka hur visualisering kan appliceras inom signalhantering och filter. Ett visualiseringsverktyg har utvecklats i enlighet med teorier om interaktivitet och gränssnitt för utbildning. Sedan utfördes en användarstudie med sammanlagt 14 deltagare, varav hälften utgjorde en kontrollgrupp. Visualiseringsverktyg effekt på deltagarnas förståelse för signalfilter och förmåga att absorbera ny information mättes. Deltagarnas kunskapsökning mättes genom att deras resultat på ett avslutande kunskapsprov jämfördes med deras prestation på en inledande kunskapsdiagnos. Inom studiens ramar kunde det inte påvisas att deltagarnas kunskap förbättrades tack vare visualisering. De viktigaste elementen i ett visualiseringsverktygs gränssnitt borde framhävas ännu mer än i verktyget som användes i denna studie. Däremot gillade en majoritet av användarna verktyget och flera tyckte att de fick nya perspektiv på eller nytt intresse för ämnet som studien avhandlade. Multimodala verktyg som erbjuder fri och naturlig interaktion är ett bra sätt att öka studenters intresse för komplicerade och abstrakta ämnen.

### Nyckelord

Signalfilter, signalhantering, visualisering, sonifiering

## 1. INLEDNING

Det kan vara svårt för studenter att skapa sig en djup förståelse för ämnen med abstrakt innehåll. Visualisering kan göra det lättare att få en förståelse för relationen mellan olika parametrar i abstrakta ämnen [2]. Att stimulera ett eller flera sinnen låter studenten ta till sig informationen på ett sätt som passar den personligen. Detta kan vara särskilt effektivt vid inlärnigen av abstrakta begrepp, vilket har visats till exempel vid studier av barn i grundskolan [5]. För studenterna finns det således ytterligare en fördel utöver ökad förståelse, nämligen att färre studenter riskerar avskräckas

från ämnen med svåra grundkoncept. Detta stämmer för studenter i alla åldrar, och visualisering är således relevant både för grundskoleelever och universitetsstudenter, vilket är den grupp som denna studie har fokuserat på.

Även senare i studierna kan studenter stöta på begrepp eller koncept som är så svåra att föreställa sig att de kan avskräcka från vidare undersökning och utforskning. Ett sådant ämne är *filter för signalhantering* [1]. I denna studie avser termen *signalfilter* analoga och digitala filter för signalhantering och manipulering av media. Musik, bilder och liknande media används som uttryckssätt och kommunikationskanaler av alla människor. Redan i låg ålder använder människor intuitivt ljud och teckningar för att återge de känslor och intryck som de inte kan sätta ord på. Trots att signalfilter används för ljud och bild, som människor naturligt tar till sig, krävs det högre utbildning för att sätta sig in i teorin bakom deras uppbyggnad.

Varje förändring i ett signalfilter medför en förändring i mediet det manipulerar. Därför borde en visualisering av signalfiltrets inverkan på ett medium som människor instinktivt kan ta till sig göra det möjligt att också utveckla en intuitiv förståelse för mekanismerna som påverkar signalfiltrets karaktär. Visualiseringen måste dock i sig också gå att förstå intuitivt, för att den ska kunna uppfylla sitt syfte.

Kraven på ett läromedel som erbjuder en sådan visualisering eller sonifiering är först och främst att det ska vara lätt att använda [3]. För att det ska vara lätt att använda är det särskilt viktigt att ha två viktiga aspekter i åtanke. Det första är att målen med verktyget ska vara tydliga. Med mål avses till exempel att det är uppenbart för användaren vilka element och vilka samband mellan olika element som är viktiga. Det andra är att läromedlet ska erbjuda mycket interaktion, så att användaren kan experimentera mer och inte ska tappa intresset för uppgiften därför att den blir uttråkad. Responsen som läromedlet ger som utdata (information som programmet skickar till användaren) måste vara lätt att ta till sig, men samtidigt innehålla alla de tekniska detaljer som krävs för att bilda en ingående kunskap om signalfiltrens uppbyggnad.

Det här examensarbetet syftar till att undersöka på vilket sätt visualisering kan användas för att göra ämnet *signalfilter* mer tillgängligt för studenter. Den centrala forskningsfrågan är: Hur kan interaktiva läromedel öka studenters förståelse för signalfilter? Det inkluderar delfrågor som vilken

data som är mest relevant att inkludera i utdatan; vilken metod som bör användas som indata för att både korrekt återge tekniska detaljer om ämnet och samtidigt vara intuitivt och vad användarnas upplevelse säger om läromedlet.

## 2. TEORI OCH RELATERAD FORSKNING

### 2.1 Visualisering

Mycket forskning har redan utförts beträffande fördelarna med visualisering inom olika ämnen. En studie, till exempel, undersökte hur låddiagram kunde användas för att förklara elektricitet på ett nytt sätt [2]. Elektricitet, liksom signalfilter, brukar vanligtvis förklaras med abstrakta ekvationer. Studiens resultat visade att studenterna som använde låddiagrammen presterade mycket bättre än studenterna som studerade ekvationer, och kunde lösa problem som de annars skulle få räkna på först flera år senare. En annan studie som undersökt fördelarna med diagram kom fram till att det är mycket viktigt att utveckla en förståelse för relationen mellan olika koncept istället för att undersöka dem var och ett för sig, och att illustrationer kan bidra därvid [4]. Studien drar slutsatsen att effekten av visualisering kan vara svår att mäta, och att bättre metoder för att göra detta behövs.

Det finns också fler exempel på studier som tyder på fördelar med visualisering inom undervisning [8], [10], [9]. Bland dessa fördelar finns till exempel förmågan att relatera till komplicerade koncept på naturliga sätt eller att fokus kan riktas mot de väsentliga detaljerna. Resultaten visar att effekten av visualisering kan variera mycket, som i en studie där deltagarna fick lära sig om platonska och arkimediska kroppar. Undersökningsdeltagarnas prestation varierade stort beroende på vilken information som visualiserades. I denna studie presterade de deltagare bäst som fick mest information visualiserad. Det är dock oklart om det var mängden av information som visualiserades, eller just denna kombination av aspekter att visualisera som gav fördelar inom detta ämne. Det är inte heller säkert att en studie där ett annat ämne visualiseras skulle få liknande resultat.

Denna studie kommer bidra till översikten över fördelarna med visualisering genom att undersöka signalfilter, ett område som inte är lika väl utforskat som andra. En studie som undersökte ett annat delområde av signalhantering visualiserade fyrdimensionella Gabor-filter med tvådimensionella projektioner [6]. Med hjälp av visualiseringen blev Gabor-filter mindre abstrakta för studenterna. Trots att hela den fyrdimensionella formen aldrig kunde visualiseras på en gång, utan endast delar av den, förbättrades studenternas förståelse om ämnet.

### 2.2 Krav vid tillämpning inom undervisning

När det kommer till undervisning är kraven på visualisering mycket högre än när det gäller andra tillämpningar, eftersom visualiseringsverktyget måste vara anpassat efter användarens behov till en större utsträckning [5]. Liang och Sedig visar i sin studie att visualisering är användbart inom undervisning, men också att det är oerhört viktigt att ha målgruppen i åtanke vid utformandet av visualisering i undervisningssyfte. Verktyget som användes i studien visualiserade tredimensionell geometri, mer specifikt platonska och arkimediska kroppar, vilket är ett ämne som vanligtvis brukar anses vara för svårt för de studenter som deltog i denna studie. Studien visar dock också att deltagarna, oavsett

kunskapsnivå eller ålder, presterade bättre på kunskapsprov efter att ha använt ett läromedel som utvecklats för studien, jämfört med innan de använt läromedlet. Visualisering borde alltså kunna användas även av universitetsstudenter som lär sig om signalfilter, förutsatt att verktyget följer de designprinciper som är bäst lämpade för denna grupp.

Forskare har också undersökt hur multimediala lärandeobjekt, vilket är en bred term som också inkluderar visualisering, kan användas inom undervisning [3]. Cochranes studie innehåller mycket information som är användbar för denna studie, särskilt när det gäller utformandet av visualiseringsverktyget. Till exempel bör det finnas ett tydligt mål med visualiseringen och uppgifterna som den hör till. Det är alltså viktigt att studenten vet vad på datorskärmen den ska fästa uppmärksamheten vid. Vidare är det viktigt att simulera verkliga situationer eller utrustning. Sedan ska verktyget erbjuda användaren stora möjligheter till interaktion. I denna studie har användaren därför till exempel möjlighet, dock begränsad, att välja vilken musik den vill applicera sitt filter på. Till sist lyfter studien fram vikten av att inkludera användare i utvecklingscykeln. Verktyget för denna studie har regelbundet prövats av studenter på KTH, vars åsikter påverkat utformningen.

Vid utformningen av visualisering är det viktigt att ha interaktionsmetod i åtanke. Det har visats att *direct concept manipulation* (DCM) är mer lämpad för utbildning än *direct object manipulation* (DOM) eftersom den är mindre naturlig och därför kräver större intellektuell ansträngning att använda [7]. Studien visar att studenterna måste utmanas och aktiveras intellektuellt för att visualiseringen ska bidra till lärandet. Det finns alltså en inneboende motsättning i visualisering för undervisning. Å ena sidan bör den vara användbar och lätt att förstå, men å andra sidan ska den innehålla begränsningar som gör att användaren måste investera tid och möda i att lära sig använda verktyget. Detta är grunden i teorin om *the gulf of execution* (GoEV) och *the gulf of evaluation* (GoEX) som beskrivs i samma studie. Den stora skillnaden mellan ett verktyg för lärandeändamål och ett verktyg för att ställa in signalfilter som finns i mjukvara för musikmixning ligger i GoEX. Verktygen för musikmixning låter användaren direkt välja vilka frekvenser som ska förstärkas eller attenueras och kommer därför inte i kontakt med de samband som begränsar utformandet av signalfilter. GoEX är mycket litet, vilket gör att det blir lätt att ställa in de önskade nivåerna på en equalizer, men användaren får ingen förståelse för de begränsningar som avgör vilken EQ som är möjlig och omöjlig. Genom att öka GoEX, och låta användaren några parametrar för filter och studera deras effekt på resultatet, kan eleven utforska relationen mellan dem.

Sedig et. al. [7] lyfter fram GoEV och GoEX som centrala koncept för utformandet av visualisering för undervisning. Studiens resultat visar att GoEV bör överbryggas medan GoEX ska hållas lagom stort för att passa användaren. Det innebär att även om verktyget med flit ska utformas så att det blir svårt för användaren att uppnå önskade resultat, så ska det alltid vara lätt för användaren att utläsa viktig information från verktyget. Om användaren ska kunna lära sig om hur dennes handlingar styr verktyget måste responsten vara omedelbar och otvetydig för att inga missförstånd

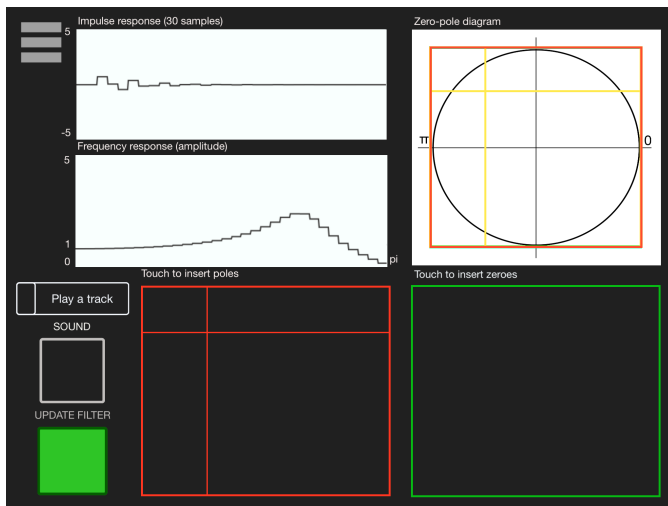


Figure 1: Verktöget's gränssnitt.

ska uppstå som försvårar lärandet. All relevant data och alla viktiga illustrationer borde uppdateras i realtid, eller omedelbart på användarens begäran. Under utvecklandet har också visualiseringen av relevant data fått prioritet istället för användarens frihet. God användbarhet har såklart ändå eftersträfvats så långt omständigheterna tillåter.

### 3. METOD

#### 3.1 Verktögsutveckling

För att kunna genomföra studien utvecklades ett verktyg i Pure Data och MobMuPlat (Se bilaga 1: Illustration av koden, all kod finns på GitHub MGroth/SignalFilterVisualization), som låter användaren skapa signalfilter genom att sätta fingrarna på en pekyta. Ytan är ett nollpoldiagram och användarens fingrar tolkas som nollor och poler. Detta val av metod för inmatning av data gjordes eftersom det är viktigt att simulera verkliga situationer eller utrustning [3]. Nollor och poler är ett vanligt sätt att illustrera signalfilter. Omedelbar respons erhålls i form av ett antal grafer (Se figur 1). Användaren kan också spela musik som manipuleras av filtret. De första 30 samplingspunkterna i impulssvaret visas i en graf. Eftersom det är möjligt att både skapa FIR- och IIR-filter valdes 30 som en lagom längd, eftersom det både rymmer korta impulssvar och ger användaren en känsla för storleken hos de oändliga. Frekvenssvaret ritas i en graf med linjära axlar, för att det ska vara tydligt för användaren när en frekvens bottnar. En liten förstudie utfördes där fyra personer fick prova verktyget, och de var alla överens om att linjära axlar var tydligare än att ha logaritmiska axlar.

Verktyget i denna studie låter inte användaren direkt manipulera filtrets frekvenssvar, vilket är den metod som är vanlig i mjukvara för musikmixning. Detta val är grundat i teorin om GoEX och GoEV [7]. Det är nödvändigt för användaren att sätta sig in i sambandet mellan frekvenssvar, nollpolsdiagram och impulssvar för att det ska vara möjligt att skapa ett filter som användaren vill ha det.

Verktyget är också utrustat med en gardinmeny, som låter användaren välja och spela musik. Låtar från olika genrer samlades in med upphovspersonernas medgivande. Alla låtar

ger olika upplevelser av filtrens effekt. Under menyn finns en volymknapp, som kan stänga av ljudet ifall användaren vill experimentera i tystnad. Längst ner finns en knapp, UPDATERE FILTER, som låter användaren stänga av uppdateringen av filtret, så att den kan ta bort fingrarna från skärmen utan att filtret nollställs.

#### 3.2 Deltagarexperiment

Sammanlagt deltog 14 personer i studien. Alla var studenter på medieteknikprogrammet vid KTH som har läst kursen *SPEKTRALA TRANSFORMER* (DT1130). Deltagarna utförde alla uppgifter som ingår i studien en och en, utan möjlighet att påverka varandra under experimentet.

Testet inleddes med ett kunskapsprov som deltagarna fick fem minuter på sig att slutföra (Se bilaga 2: Inledande kunskapsformulär) för att undersöka deltagarnas förkunskaper inom ämnet. Högsta möjliga poäng var 6. Provet avhandlade grunderna för signalfilter och var avsett att undersöka om deltagarna hade behållit sin kunskap om signalfilter sedan de läste kursen Spektrala Transformer och fortfarande var bekanta med viktiga begrepp. Syftet var att identifiera deltagare med avvikande kunskapsnivå så att de kunde ges olika uppgifter senare i testet för att inte snedvrider resultatet.

Därefter fick deltagarna 20 minuter på sig att sätta sig in i en text (Se bilaga 3: Impulssvar, frekvensgång och nollpolsanalys) som handlade om impuls- och frekvenssvar och nollpolsanalys. Texten var avsedd att passa de som redan har grundkunskaper i ämnet, och författades för denna undersökning. Den är rik på illustrationer och saknar matematiska formler och matematisk argumentation. Hälften av deltagarna utgjorde provgruppen som fick använda visualiseringsverktyget samtidigt som de läste texten. Den andra hälften utgjorde kontrollgruppen som enbart fick läsa texten.

Testet avslutas med ett till kunskapsprov (Se bilaga 4: Avslutande kunskapsprov), som är 10 minuter långt. Högsta möjliga poäng var 15. Det handlar om textens innehåll, ställer högre kunskapskrav än det första provet och har som syfte att utgöra empiriskt underlag för att undersöka visualiseringsverktygets fördelar. Förutom det avslutande kunskapsprovet fick alla deltagare också fylla i en enkät (Se bilaga 5: Enkät för användare) om hur de upplevde visualiseringen och om det påverkade deras intryck av textens innehåll. Kontrollgruppens medlemmar tilläts leka med visualiseringsverktyget efter att de gjort det avslutande provet. Eftersom deras upplevelse av texten och verktyget skiljde sig från provgruppens, var deras synpunkter på programmet värdefulla.

Då deltagarna endast använde programmet under en kort tid, kan denna studie inte undersöka om visualisering kan bidra till lärande över en längre tid. Istället fokuserar den på användarnas upplevelse och en jämförelse mellan prestationen hos gruppen som använde visualiseringsverktyget och gruppen som inte gjorde det. Studien är begränsad till att endast använda diagram och ljud för att visualisera signalfilter.

### 4. RESULTAT

I denna del presenteras de resultat som samlats in under studiens genomförande. Först presenteras de kvalitativa resultaten, som baseras på deltagarnas enkätsvar. Därefter kvantitativa resultaten, som utgörs av deltagarnas resultat på det inledande och det avslutande provet.

## 4.1 Deltagarnas upplevelse

I deltagarnas svar på enkäten rådde stor enighet om vad som var bra med verktyget. Alla användare lyfte fram någon eller båda av två saker, gränssnittet och responsen. För det första tyckte de om gränssnittet, som beskrevs som snyggt och enkelt. Till exempel skrev E3: "Tydligt och enkelt. Bra gränssnitt med tydlig funktion." För det andra gillade användarna att få omedelbar respons på sina handlingar. En annan deltagare, E5, tog upp att: "Jag tyckte om att allt hände i realtid och att man kunde lyssna på ljud samtidigt."

Alla användare hade olika synpunkter på vad som skulle kunna förbättras med verktyget. Flera synpunkter handlade om saker som skulle förhöja användarupplevelsen. Till exempel ville K3 ha färdiga exempel i programmet; E3 ville att musiken automatiskt ska börja om och E6 ville att programmet också borde tala om ifall filtret är lågpas, högpas eller bandpass för att förtydliga vad frekvensgången betyder.

Två användare tog också upp buggar som var konsekvenser av brister i UI-verktyget som användes till utvecklingen, eller saker som tyder på att de haft svårt att tyda programmets gränssnitt, trots att de fick en förklaring av det. Till exempel skrev E4: "Skulle vara bra att se var polerna och nollställena va". Nollpolsdiagrammet var en av huvudfunktionerna med programmet, och tog upp en fjärdedel av gränssnittets yta.

Alla användare utom en instämde i att programmet var ett bra sätt att lära sig om filter. Återigen framhävs det som en fördel att få omedelbar respons, fritt experimentera och att höra hur filtret påverkar musik. Till exempel skrev K2: "Ja, jag tror det är bra att få testa själv och se hur olika poler/nollar har för diagram. Om man har svårt att förstå kan man testa sig fram och hitta mönster." K2 tillhörde kontrollgruppen och fick alltså använda programmet först efter det avslutande provet.

K4 var den enda som svarade annorlunda, och sade att: "Det kan nog vara det om man får arbeta med det en längre tid." Det framgår dock inte vad K4 ansåg skulle vara fördelarna med att använda visualiseringsverktyget under en längre period.

Alla studiens deltagare gillade verktyget och dess funktioner. En majoritet av deltagarna tyckte att det borde ha tillämpningar inom undervisning. Vissa deltagare ansåg att vissa aspekter av gränssnittet var ottydligt.

## 4.2 Kvantitativa resultat

På det inledande provet fick experimentgruppen både höga och låga resultat, som varierade mellan 2 och 5 poäng, men ingen fick 6 poäng, som var det högsta möjliga resultatet. Ingen i gruppen fick mer än hälften av den möjliga poängsumman på det avslutande provet (Se tabell 1). Det var ingen användare med resultat som avvek avsevärt från de andra användarnas.

**Table 1: Resultat för experimentgruppen**

Namn	Inl. prov	Avs. prov
E1	2	4
E2	4	2
E3	5	4
E4	4	5
E5	4	5
E6	2	4
E7	2	7

**Table 2: Resultat för kontrollgruppen**

Namn	Inl. prov	Avs. prov
K1	2	6
K2	3	4
K3	3	12
K4	5	3
K5	2	14
K6	4	13
K7	4	14

Kontrollgruppen hade också en stor variation av resultat på det inledande provet, mellan 2 och 5 poäng. Hälften av gruppen presterade på samma nivå som provgruppen i det avslutande provet. Den andra halvan fick avsevärt högre poäng än alla andra användare i båda grupperna [Tabell 2]. Inte heller i denna grupp fanns det några användare vars resultat avvek på ett iögonfallande sätt. Kontrollgruppen är tydligt uppdelad mellan de tre användare som fick ungefär 5 poäng, och de fyra användare som fick ungefär 13 poäng.

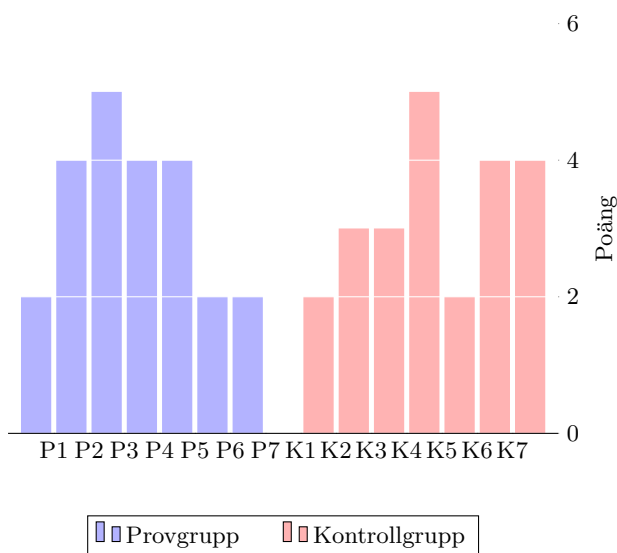
Det var också så att användare som presterade sämst på det inledande provet var bland de som fick bäst resultat på det avslutande provet, i båda grupper. I provgruppen fick P7 2 respektive 7 poäng på proven. P7 var den enda användare i provgruppen som fick mer än 6 poäng på det avslutande provet. I kontrollgruppen var det K5 poäng som sträckte över hela distributionen, med 2 respektive 14 poäng. I kontrollgruppen var det också K1 som fick 2 poäng på det inledande provet och K7 fick också 14 poäng på det avslutande provet.

De båda grupperna har ett exakt lika högt genomsnittet på det inledande provet 3. Medianen skiljer dock lite: Kontrollgruppen har en median som är en poäng lägre än provgruppen. Snittet och medianen för båda grupper sammanlagt är några tiondelar högre än 3 poäng, alltså marginellt högre än hälften av högsta möjliga poäng (Se tabell 3).

**Table 3: Medianer och medelvärden**

Data	Provgrupp	Kontrollgrupp	Alla
Snitt inl. prov	3,286	3,286	3,286
Snitt avs. prov	4,429	9,429	6,929
Median inl. prov	4	3	3,5
Median avs. prov	4	12	5

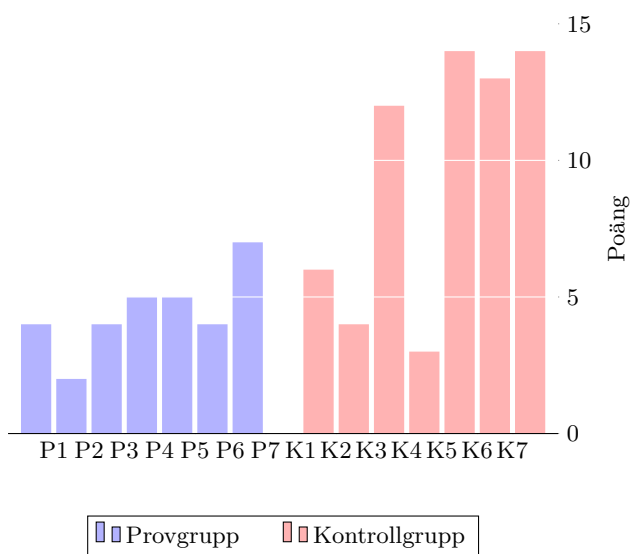
Diagram 1: Resultat på inledande prov



Vad beträffar det avslutande provet är skillnaden mellan resultaten avsevärda (Se diagram 2). Kontrollgruppen har ett mer än dubbelt så högt medelvärde (9,4 jämfört med 4,4) och en tre gånger så hög median (12 jämfört med 4) som provgruppen. Att medianen är så mycket högre beror på att det var tre användare i kontrollgruppen som presterade lika bra som användarna med sämre resultat i provgruppen medan fyra presterade mycket bättre. Det saknas användare som presterade på en nivå mellan dessa båda delgrupper.

Fråga 1 i det avslutande provet handlade om att identifiera FIR- och IIR-filtrer med hjälp av en bild, som antingen föreställde ett impulssvar eller ett nollpolsdiagram. Många fler användare kunde korrekt identifiera impulssvarens filtertyp, än de som lyckades tyda nollpolsdiagrammets motiv. Alla utom tre användare hade rätt på båda impulssvaren. De som inte hade det var E3, E5 och K3. De hade fel på båda (Se diagram 2).

Diagram 2: Resultat på avslutande prov



Det fanns fler exempel på när en användare gav till synes motsatta svar. Ett exempel är hur P2 svarade på fråga 3, som gick ut på att med hjälp av ett nollpolsdiagram identifiera ett filters generella frekvensgång. P2 svarade högpas, bandpass, högpas, högpas och lågpas. Rätt svar var lågpas, bandspärr, lågpas, lågpas och högpas.

Experiment- och kontrollgruppen hade båda 3,2 poäng i genomsnitt på det inledande provet, och deras medianer var 3 och 4 poäng. På det avslutande provet fick experimentgruppen ett genomsnitt på 4,4 poäng och en median på 4 poäng. Kontrollgruppen fick ett genomsnitt på 9,4 poäng och en median på 12 poäng. Överlag hade användarna lättare att se skillnad på ett IIR- och ett FIR-filtrer med hjälp av ett impulssvar än ett nollpolsdiagram.

## 5. DISKUSSION

Syftet med denna studie var att undersöka om visualisering kan användas för att göra ämnet signalfilter mer tillgängligt för studenter. Det innebär dels att undersöka om visualisering kan förbättra studenters förståelse av ämnet signalfilter och dels att undersöka om det finns några andra fördelar med visualisering, som att öka studenternas intresse för ämnet. Detta kapitel innehåller både en diskussion om studenternas upplevelse av visualiseringsprogrammet, och en analys av provresultaten. Resultaten från det inledande och det avslutande provet kommer analyseras både genom jämförelser mellan gruppernas prestation och genom att diskutera skälen till att vissa förvånande mönster i deltagarnas svar uppstod.

Att många av deltagarna gillade den omedelbara responsen när de använde programmet återspeglar hur mycket tid som lades på att utveckla och utvärdera denna aspekt av programmet. Tidigare forskning om visualisering för undervisning visar att interaktionsupplevelsen är viktig för programmets effekt[3] och därför lades mycket tid på att göra programmet enkel att använda och att göra upplevelsen följsam. Tre stycken användare tyckte att programmet inte gav tillräckligt tydlig utdata, vilket innebär en risk för att de gjorde sämre ifrån sig på det avslutande provet än vad de hade kunnat. Detta skulle kunna förbättras med till exempel färgkodning i illustrationen av frekvenssvaret, för att förtydliga vilka maximum och minimum som är extra intressanta.

De flesta studiedeltagare ansåg att visualiseringsprogrammet skulle kunna ha tillämpningar inom utbildning, vilket tyder på att det fanns fördelar med programmet som inte kunde mätas genom proven. En skulle kunna vara att ett visualiseringsprogram är ett bra sätt att verifiera information som en student stöter på i kurslitteraturen. För de studenter som har svårt att bibehålla information efter slutet på skoldagen, skulle det kunna bli lättare att minnas exempelvis skillnaden mellan en reell och en imaginär nolla ifall de kan verifiera litteraturens påståenden med sina egna öron och ögon. En annan fördel med visualisering skulle kunna vara att det kan göra studenternas första möte med ett komplicerat ämne som signalfilter mindre avskräckande. Genom experiment i ett visualiseringsprogram där studenterna kan lära känna ämnet på sina egna villkor, är det möjligt att deras nyfikenhet tänds och viljan förstärks att sätta sig in även i ämnets mest svårtillgängliga aspekter.

Att experimentgruppen i genomsnitt fick så mycket lägre poäng på det avslutande provet än kontrollgruppen tyder på att visualiseringsprogrammet inte förbättrade, eller till och med försämrade, provgruppens prestation. Enligt tidigare forskning måste programmet vara utformat på rätt sätt för att ge önskad effekt. Eftersom vissa deltagare inte tyckte att gränssnittet var tillräckligt tydligt, skulle det kunna vara ett skäl till att programmet inte ökat studenternas prestation. Det var dock överlägset fler deltagare som inte meddelade ifall gränssnittet var för otydligt eller inte, vilket tyder på att gränssnittets tydlighet inte utgjorde ett hinder för dem. Skillnaden mellan gruppernas genomsnitt skulle kunna bero på individuella skillnader mellan studenterna, snarare än en brist i programmets utformning.

Det finns dock många detaljer i den insamlade datan som gör det svårt att utreda om programmet hade en försämrande effekt eller ingen alls. Till exempel är det en mycket stor skillnad mellan kontrollgruppens snitt och dess median. Det beror på att deltagarna i kontrollgruppen fick mycket olika resultat, vilket i sin tur har två tänkbara orsaker. Den ena är att de deltagare som presterade sämre var avvikande, och kanske saknade de kunskaper som behövdes för att genomföra provet. Eftersom dessa deltagare presterade på samma nivå som alla användare som använde programmet, skulle det tala för att programmet är orsaken till att provgruppens resultat är låga.

Den andra tänkbara orsaken är att det var de högpresterande deltagarna i kontrollgruppen som var avvikande. De kanske läste en kurs om signalfilter mer nyligen än de andra deltagarna, eller är generellt mer högpresterande än sina jämlingar, och råkade av en slump alla hamna i kontrollgruppen istället för i provgruppen. Om skillnaden i prestation endast beror av tidigare kunskap skulle det innebära att visualiseringsprogrammet inte har haft någon inverkan på deltagarnas provresultat. Detta hade kunnat bekräftas om resultaten på det inledande provet korrelerade med resultatet på det avslutande provet. En sådan korrelation mellan proven saknas dock helt, vilket stöder att programmet haft varken positiv eller negativ effekt på prestation. Det finns inget i resultatet som tydligt visar att programmet konsekvent förbättrat eller försämrat provgruppens utveckling mellan det inledande provet och det avslutande provet.

Att resultaten på det inledande och det avslutande provet saknade korrelation antyder att proven inte bara innehöll olika sorters frågor, utan att dessa olika sorters frågor också krävde helt olika kunskap och resonemang för att besvara. Det inledande provet kunde alltså inte användas för att uppskatta deltagarnas kunskapsnivå innan studien. Det inledande provet borde alltså ha utformats helt annorlunda, på ett sätt som gjorde det effektivt för att mäta deltagarnas förkunskap inom ämnet.

Syftet med det inledande provet var att utgöra en referenspunkt att jämföra deltagarnas resultat på det avslutande provet med. Tyvärr duger det inte för detta syfte, eftersom frågorna i de båda proven var så olika. Det inledande provet skulle utgöra en mycket mer lämplig måttstock att mäta deltagarnas prestation i det avslutande provet med, om frågorna var mer snarlika i innehåll och utformning.

I det avslutande provets resultat förekom det trender och beteenden som provgrupp och kontrollgrupp hade gemensamt. Ett exempel är hur deltagarna var konsekvent bättre på att bedöma om ett filter var ett IIR- eller FIR-filter med hjälp av ett impulssvar än med ett nollpolsdiagram, trots att texten skrevs med ett fokus på det senare. Skillnaden i förståelse för dessa två koncept kan förmodligen härledas till GoEV [7]. Teorin handlar som bekant om hur ett bra läromedel bör utformas. För det första ska det ska krävas en intellektuell ansträngning av användaren för veta vilken data som bör matas in. För det andra ska det vara helt uppenbart vilken data som matas ut, och därmed lätt att veta *när* rätt data matas in. Det var av detta skäl som visualiseringsprogrammet som utvecklades för denna studie inte lät användaren mata in data genom att manipulera en frekvensgång, utan istället genom att föra in nollor och poler.

Enligt teorin om GoEV är det således också lämpligt att dra slutsatsen att impulssvar är naturligare för att illustrera skillnaden mellan IIR- och FIR-filter än ett nollpolsdiagram. När det gäller hur detta attribut illustreras i ett nollpolsdiagram är regeln mycket enkel, och den lyder: "Om antalet poler i filtret är större än noll så är det ett IIR-filter; annars är det ett FIR-filter." Problemet är att genom ett nollpolsdiagram förmedlas denna information på ett abstrakt sätt. Nollor illustreras med cirklar och poler med kryss. Det finns inget inneboende attribut i dessa former som kopplar dem till de attribut som skiljer IIR- och FIR-filter åt, nämligen att det första har ett oändligt och det andra har ett ändligt impulssvar. Därför krävs det att en intellektuell insikt görs och att denna insikt är tillgänglig i deltagarens minne för att denne ska kunna skilja IIR-filter från FIR-filter med hjälp av ett nollpolsdiagram. Dessa förutsättningar innebär en barriär som försämrar deltagarnas förmåga att korrekt läsa nollpolsdiagram.

Till skillnad från ett nollpolsdiagram så har en illustration av impulssvaret attribut som tydligt påminner deltagaren om attributen som skiljer FIR- och IIR-filter åt. Impulssvaret för ett IIR-filter är oändligt, och därför alltid längre än impulssvaret för ett FIR-filter. Eftersom det bara var 30 samplingspunkter långt var det egentligen omöjligt för studiens deltagare att med säkerhet veta om impulssvaret var oändligt, och filtret därmed ett IIR-filter eller icke. Att den stora majoriteten av deltagare trots det klarade att avgöra om impulssvaret föreställde ett IIR- eller FIR-filter visar dock att det inte behövdes. Det räckte med att impulssvaret gav en känsla av storlek som påminde användaren om skillnaden mellan filtertyperna. Slutsatsen kan alltså dras, att informationen om huruvida ett filter har ett ändligt eller oändligt impulssvar är lättare att utläsa ur ett impulssvar än ur ett nollpolsdiagram.

Ett intressant mönster uppträdde bland vissa användares svar. Ibland korrelerade svaren omvänt mot facit (till exempel P2), så att personen svarade högpas på alla lågpas och lågpas på alla högpas. Detta skedde med sådan pricksäkerhet hos dessa användare att de verkar ha vetat vad det rätta svaret var, men valt att svara motsatsen. Även om inte alla deltagare hade en hög motivationsnivå när de genomförde det avslutande provet är det ändå osannolikt att en deltagare med hög kunskapsnivå skulle föresätta sig att med flit sabotera studiens resultat.

Troligare då är att deltagaren har missförstått vissa viktiga koncept, men med hjälp av texten, och i vissa fall också programmet, lyckats sätta sig in i vissa andra koncept. En person som kände till skillnaderna mellan FIR- och IIR-filter men blandat ihop förkortningarna skulle ge fel svar till alla bilder i fråga 1. På samma sätt skulle en person som lärt sig att uppskatta frekvensgången utifrån ett nollpolsdiagram ge motsatta svar på nästan alla frågor om den läser cirkelarna i diagrammet som poler och kryssen som nollor. Det förefaller dock inte heller särskilt troligt att en deltagare skulle ha fått en sådan skarp förmåga att analysera nollpolsdiagram under studiens utförande, men ändå konsekvent glömma att cirklar står för nollor och kryss för poler. Det hade varit möjligt att utreda med intervjuer med alla deltagare efter studiens slutförande, men eftersom det inte fanns en sådan möjlighet är det lämpligast att anta att vissa deltagare genom slumpen prickade de motsatta svarsalternativen bland de felaktiga.

## 6. SLUTSATS

Denna studie har kunnat visa att det finns en potential för visualisering att förbättra undervisningen om signalfilter, genom att studenterna kan experimentera med filter för att lära känna ämnet på sina egna villkor. Däremot har studien inte kunnat ge ett övertygande exempel på att studenter under kort tid kan ta till sig information snabbare med hjälp av visualisering.

Genom den kvalitativa undersökningen har det visats att gränssnittet för ett visualiseringsverktyg bör vara ännu tydligare än det som användes i denna studie. Det gäller främst delarna av gränssnittet som är för utdata. Grafiska element bör förenklas ännu mer, och de viktiga delarna av grafer och illustrationer framhävas. Ett visualiseringsprogram bör dra användarens uppmärksamhet till de viktigaste visualiserande elementen för att användaren inte ska distraheras och gå miste om syftet med programmet.

Det studiens deltagare gillade mest med programmet var att den gav omedelbar respons på deras handlingar. Ett gränssnitt som formas efter användarens vilja och inbjuder till experimentering ger bäst användarupplevelse av visualiseringen. Genom multimodal interaktion gör visualisering det möjligt att ta till sig ett abstrakt ämne som signalfilter på ett intuitivt sätt.

## 7. ERKÄNNANDEN

Det hade varit omöjligt att genomföra denna studie utan DJ Kairui, Coach&Horses och Luffe, som bidragit med musik till visualiseringsprogrammet.

All kod finns tillgänglig på GitHub: MGroth/SignalFilterVisualization

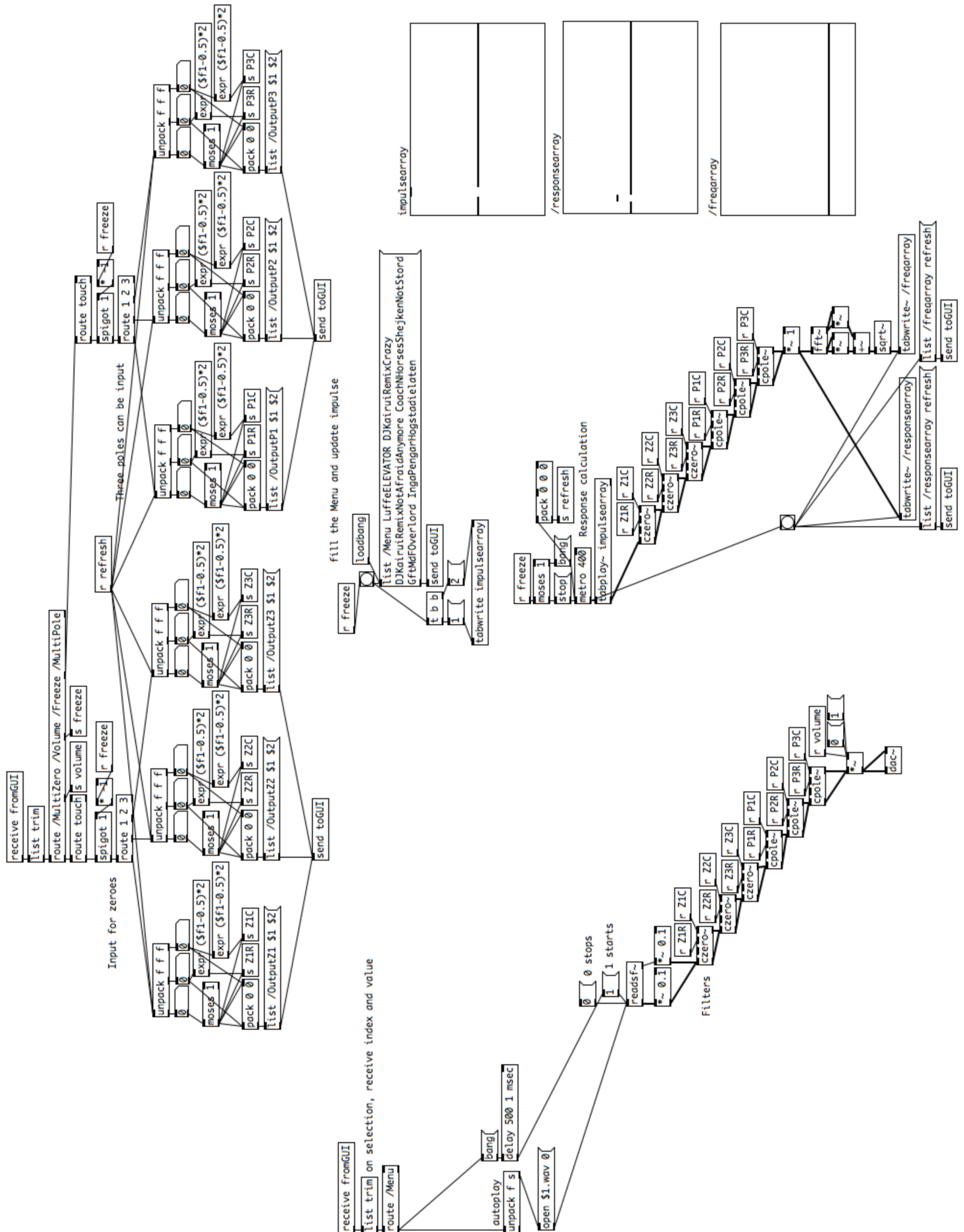
## 8. REFERENCES

- [1] Svenska akademiens ordlista, upplaga 13.
- [2] P. C.-H. Cheng. Electrifying diagrams for learning: principles for complex representational systems. *Cognitive Science*, 26(6):685–736, 2002.
- [3] T. Cochrane. Interactive quicktime: Developing and evaluating multimedia learning objects to enhance both face-to-face and distance e-learning environments. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, 1(1):33–54, 2005.
- [4] S. M. Fiore, H. M. Cuevas, and R. L. Oser. A picture is worth a thousand connections: The facilitative effects of diagrams on mental model development and task performance. *Computers in Human Behavior*, 19(2):185–199, 2003.
- [5] H.-N. Liang and K. Sedig. Can interactive visualization tools engage and support pre-university students in exploring non-trivial mathematical concepts? *Computers & Education*, 54(4):972–991, 2010.
- [6] V. S. N. Prasad and J. Domke. Gabor filter visualization. *J. Atmos. Sci*, 13:2005, 2005.
- [7] K. Sedig, M. Klawe, and M. Westrom. Role of interface manipulation style and scaffolding on cognition and concept learning in learnware. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 8(1):34–59, 2001.
- [8] K. Sedig and H.-N. Liang. Interactivity of visual mathematical representations: Factors affecting learning and cognitive processes. *Journal of Interactive Learning Research*, 17(2):179, 2006.
- [9] K. Sedig, S. Rowhani, and H.-N. Liang. Designing interfaces that support formation of cognitive maps of transitional processes: an empirical study. *Interacting with computers*, 17(4):419–452, 2005.
- [10] M. C. Stone, K. Fishkin, and E. A. Bier. The movable filter as a user interface tool. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 306–312. ACM, 1994.



### Illustration av koden till visualiseringsprogrammet

### Illustration av koden till visualiseringsprogrammet



# Inledande kunskapsformulär

Marcus Groths kexjobb om Signalfilter, KTH, 2017

## 1. ID

---

## 2. Vad består ett impulssvar av?

*Markera endast en oval.*

- ☐ Ett antal nyquistfrekvenser
- ☐ Ett antal sampelvärden
- ☐ Ett antal fasskiften

## 3. Vad är resultatet av en fouriertransform av ett ljudstyckes frekvensgång?

*Markera endast en oval.*

- ☐ Ljudstyckets sampelpunkter
- ☐ Ljudstycket nollor och poler
- ☐ En filtrering av alla frekvenser över nyquistfrekvensen

## 4. I vilken domän ryms ett impulssvar?

*Markera endast en oval.*

- ☐ Tidsdomänen
- ☐ Frekvensdomänen
- ☐ Z-domänen

## 5. I vilken domän ryms frekvensgången?

*Markera endast en oval.*

- ☐ Tidsdomänen
- ☐ Frekvensdomänen
- ☐ Z-domänen

## 6. Högpassfilter...

*Markera endast en oval.*

- ☐ ... släpper igenom höga frekvenser.
- ☐ ... släcker höga frekvenser.
- ☐ ... släcker ett band av frekvenser.

**7. Bandspärrfilter...**

*Markera endast en oval.*

- ☐ ... släpper igenom höga frekvenser.
  - ☐ ... släcker höga frekvenser.
  - ☐ ... släcker ett band av frekvenser.
- 

Tillhandahålls av

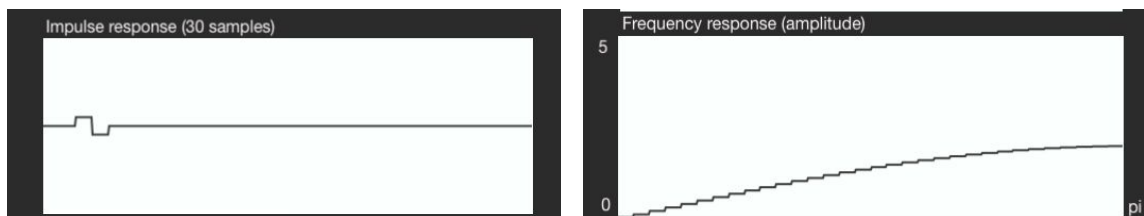


Google Forms

## Impulssvar, frekvensgång och nollpolsanalys

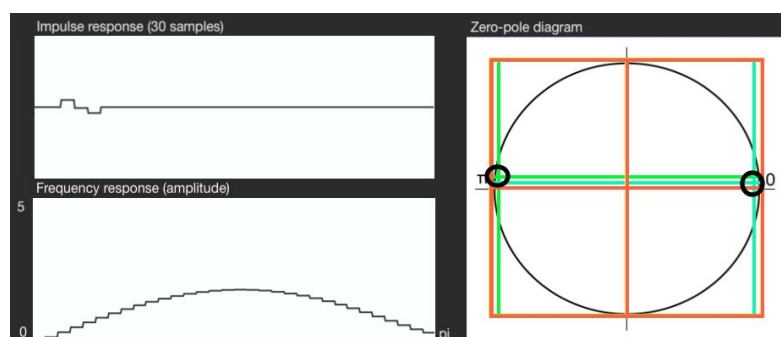
En samplad signal som bara består av en etta följd av ett oändligt antal nollor kallas för en impuls. När impulsen skickas genom ett filter kommer filtrets impulssvar ut. Impulssvaret är också en samplad signal och kan ritas upp i en graf där amplituden är en funktion av tiden angedd i sampelpunkter. Om svaret är ändligt är det ett FIR-filter (finite impulse response) och om svaret är oändligt (det avtar dock med tiden) är det ett IIR-filter (infinite impulse response). Om två olika filter har likadana impulssvar innebär det att de kommer ha identisk effekt på en signal som filtreras genom något av dem.

Det är möjligt att dela upp en signal i alla frekvenser som förekommer i signalen. Det kallas att fouriertransformera den, efter vetenskaparen Fourier. Fouriertransformen av ett impulssvar kallas för filtrets frekvensgång, och brukar ritas i en graf där amplituden är en funktion av frekvensen. Där syns det tydligt vilka frekvenser som filtret släcker och vilka som förstärks. Transformen av en impuls som inte filtreras innehåller alla frekvenser. Bilder av impulssvar och frekvenssvar för det enklaste högpasfiltret.



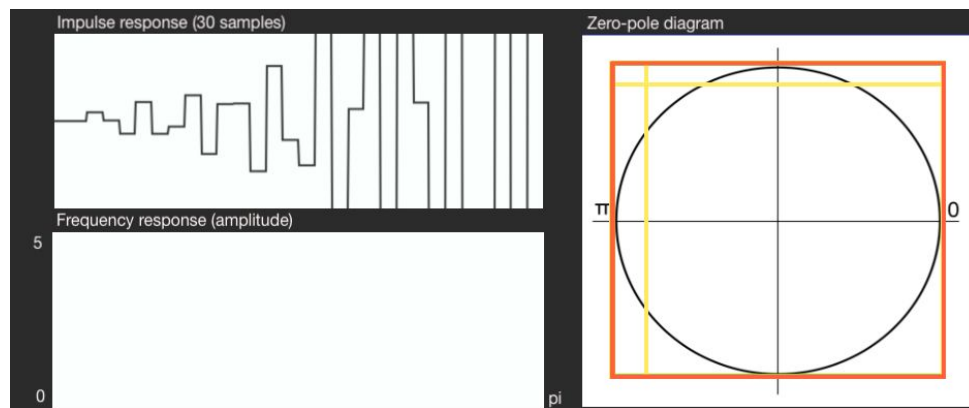
Filter beskrivs matematiskt med en överföringsfunktion. I funktionens täljaren beskrivs de frekvenser som släcks av filtret, i varje frekvens som släcks mest säger vi att det finns en nolla. För varje nolla tas det förra indata till filtret och läggs till som indata tillsammans med det nuvarande sampelvärde. Ju fler nollor som finns i filtret, desto äldre indata läggs till i det nya indata. Om filtret bara består av nollor blir impulssvaret ett längre än antalet nollor. I nämnaren beskrivs de frekvenser som förstärks av filtret, i de frekvenser som förstärks mest säger vi att det finns poler. En pol tar det senaste värdet som kom ut ur filtret och lägger till det som indata tillsammans med det nuvarande sampelvärde. Om filtret har minst en pol blir impulssvaret oändligt.

Bild av ett enkelt bandpassfilter med två nollor.



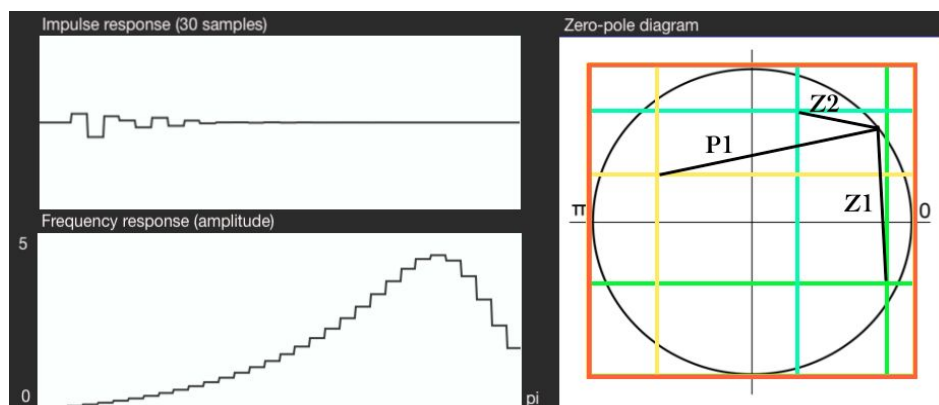
Nollar och poler brukar ritas i ett diagram ovanpå en enhetscirkel. Vid 0 finns den lägsta frekvensen och vid  $\pi$  är nyquistfrekvensen. Alla frekvenser däremellan hittar vi längs enhetscirkelns övre kant. Nollar och poler som sitter längre från origo ger större amplitud i impulssvaret än de som är närmare. Om en pol sätts utanför enhetscirkeln kommer effekten av den att växa istället för att avta. Då blir filtret instabilt och oanvändbart.

Bild av ett instabilt filter med en pol.



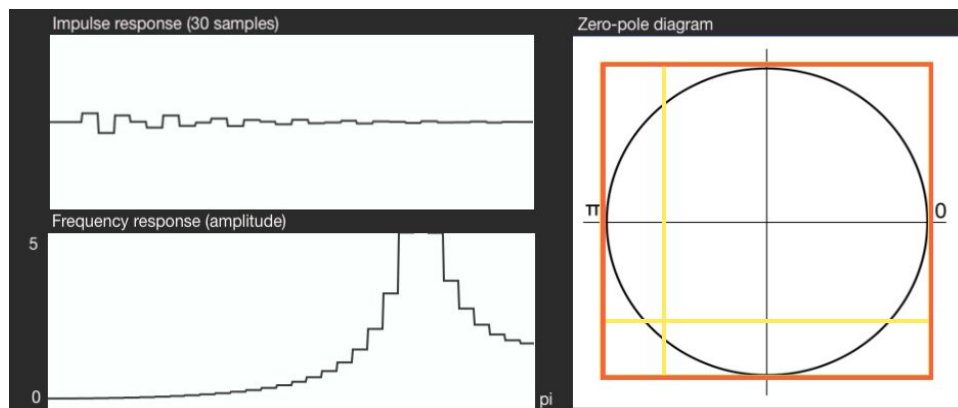
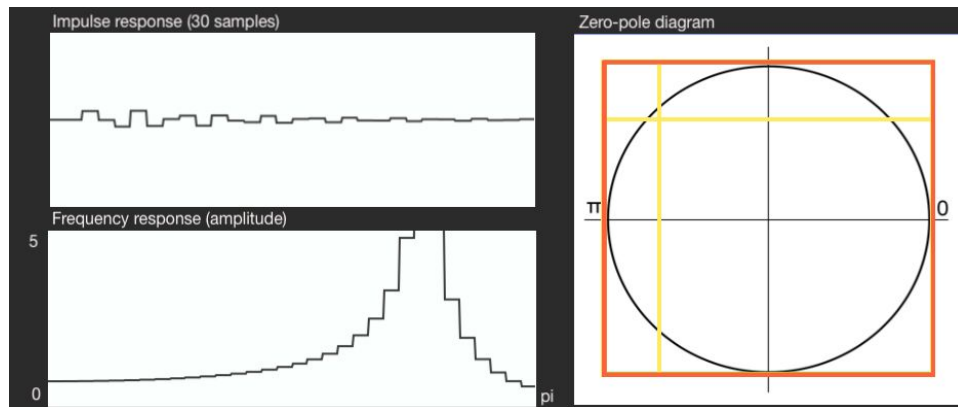
Det är möjligt att beräkna frekvensgången med ett nollpolsdiagram istället för ett impulssvar. Nollar markeras med cirklar och poler med kryss. Amplituden vid en specifik frekvens kan utläsas ur nollornas och polernas avstånd till frekvensens punkt på cirkeln. I exemplet nedan kan vi alltså se att frekvenser som är ungefär  $1/4$  av nyquistfrekvensen släcks därför att avståndet Z1 från den första nollan (grön) och avståndet Z2 från den andra nollan (turkos) är korta, och avståndet P1 från den första polen (gul) är långt. I motsats till detta är frekvenser runt  $3/4 \pi$  förstärkta, eftersom de är nära polen men långt från nollorna. Det syns tydligast i grafen för frekvensgången.

Bild av ett bandpassfilter med två nollar och en pol.



Längs kanten av den undre halvan av cirkeln finns alla frekvenser mellan nyquistfrekvensen och samplingsfrekvensen. Därför kommer en nolla eller pol i kvadrant tre att skapa en frekvensgång som liknar den som skapas av en nolla eller pol i kvadrant två. Detsamma gäller för kvadrant fyra och ett. Det finns dock en viktig skillnad! Frekvenssvaret kommer bli spegelvänt. Notera på bilderna nedan hur de lägre frekvenserna släcks mer när polen är i kvadrant 2 och de högre frekvenserna släcks mer när polen är i kvadrant 3.

Bild av två filter med en pol. Trots att dessa inte släcker låga frekvenser kan de ändå kallas bandpassfilter eftersom vissa frekvenser förstärks så mycket att de låga knappt hörs i jämförelse.



# Avslutande Kunskapsprov

Marcus Groths kexjobb om Signalfilter, KTH, 2017

1. ID

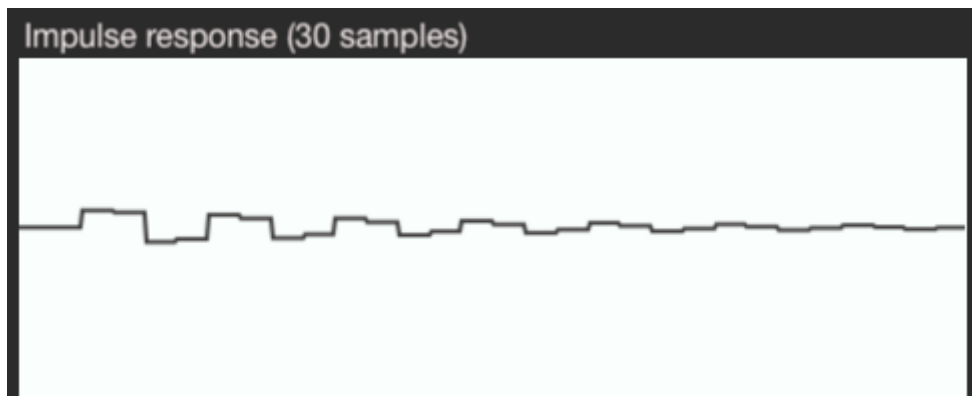
---

2. Ange om följande bilder föreställer FIR- eller IIR-filter

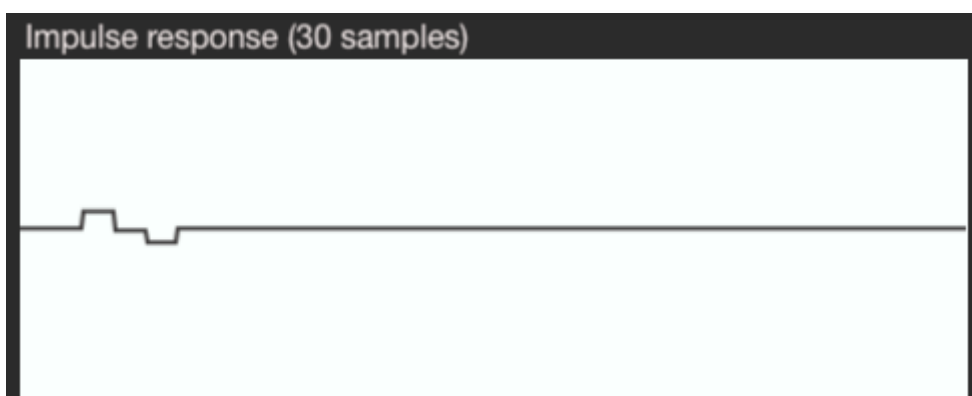
Svara till exempel: F, I, osäker, F, I

---

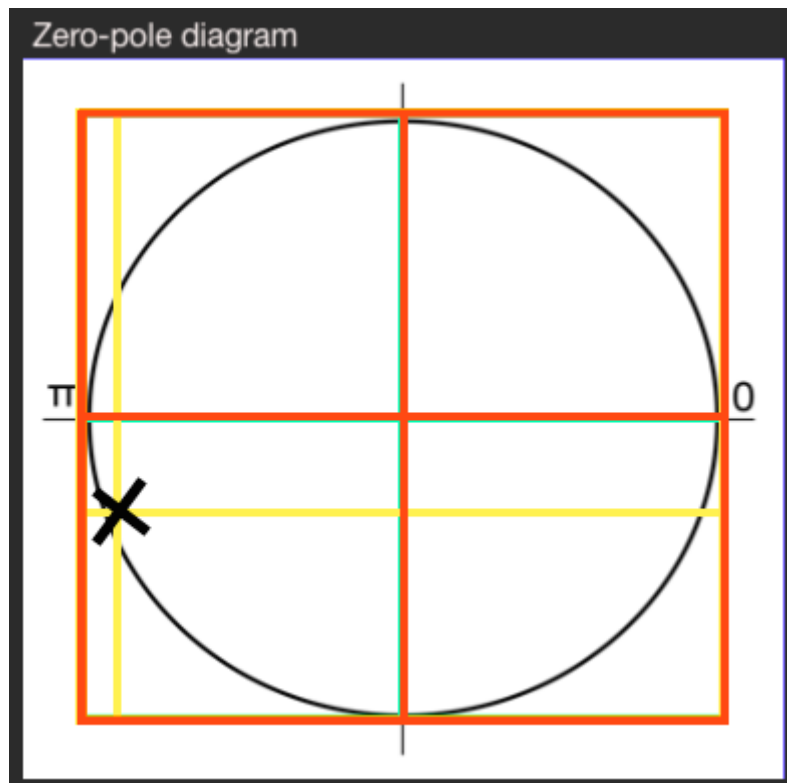
## Bild 1



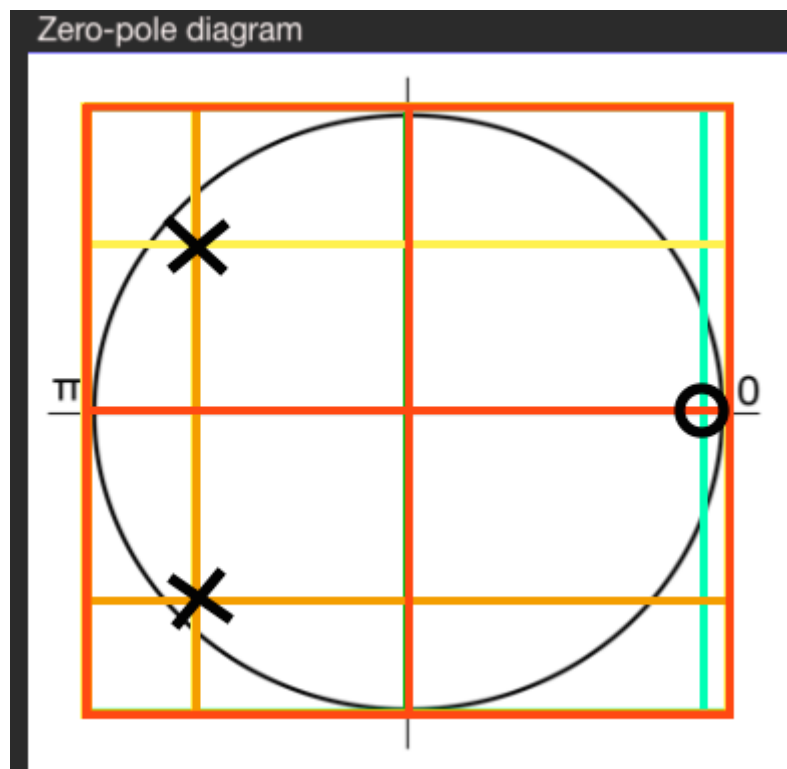
## Bild 2



## Bild 3

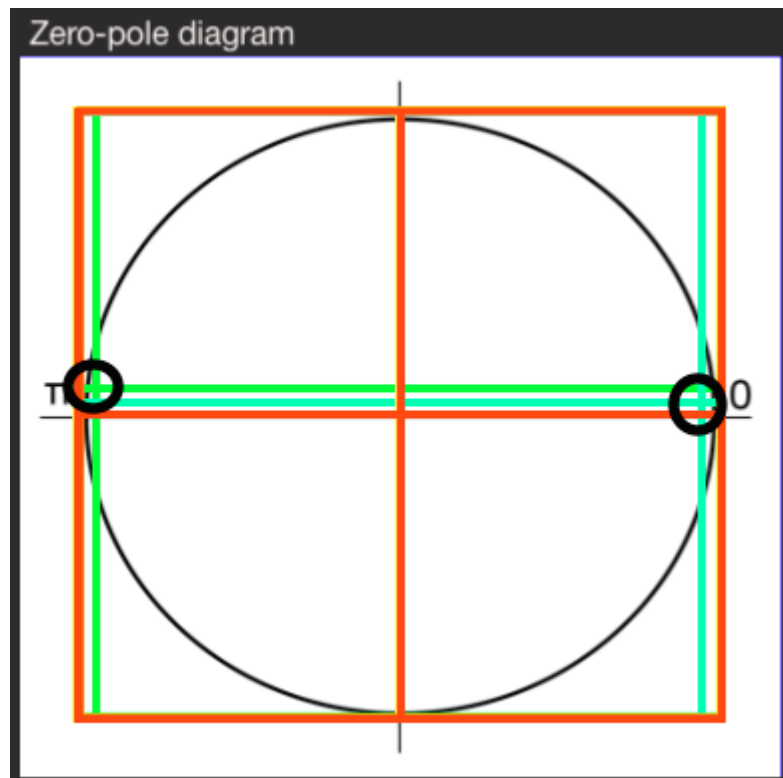


**Bild 4**



**Bild 5**





3. Ange vilken av filtertyperna lågpass, högpass, bandpass eller bandspärr som varje bild föreställer

Svara till exempel: bandpass, bandspärr, osäker, ...

---

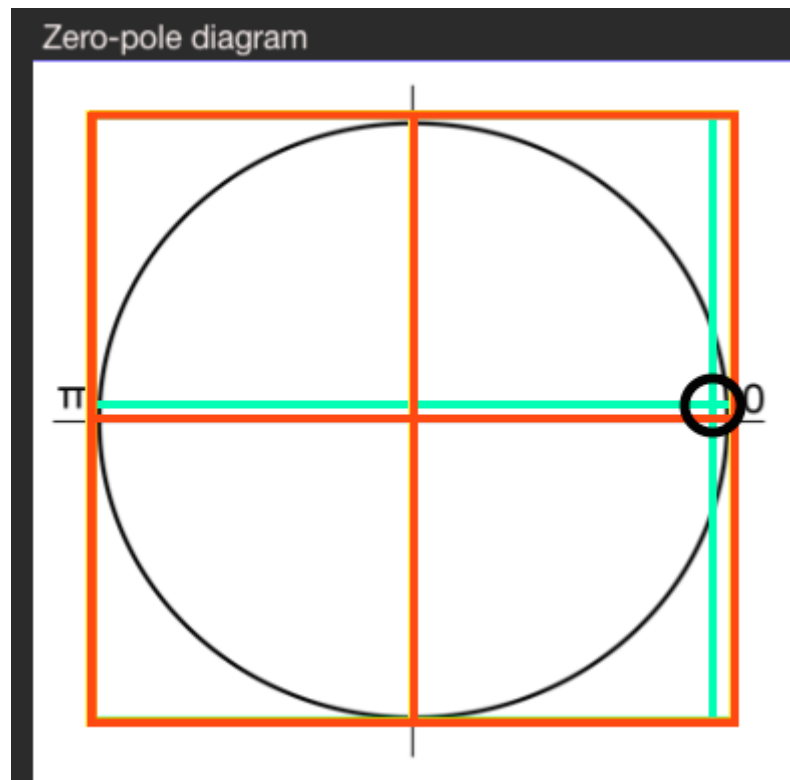
---

---

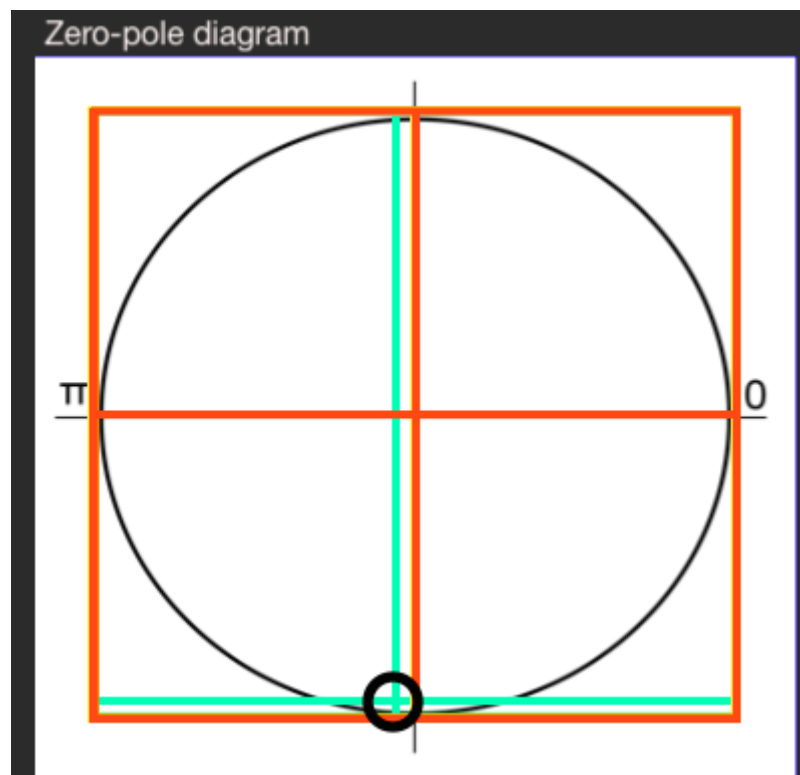
---

---

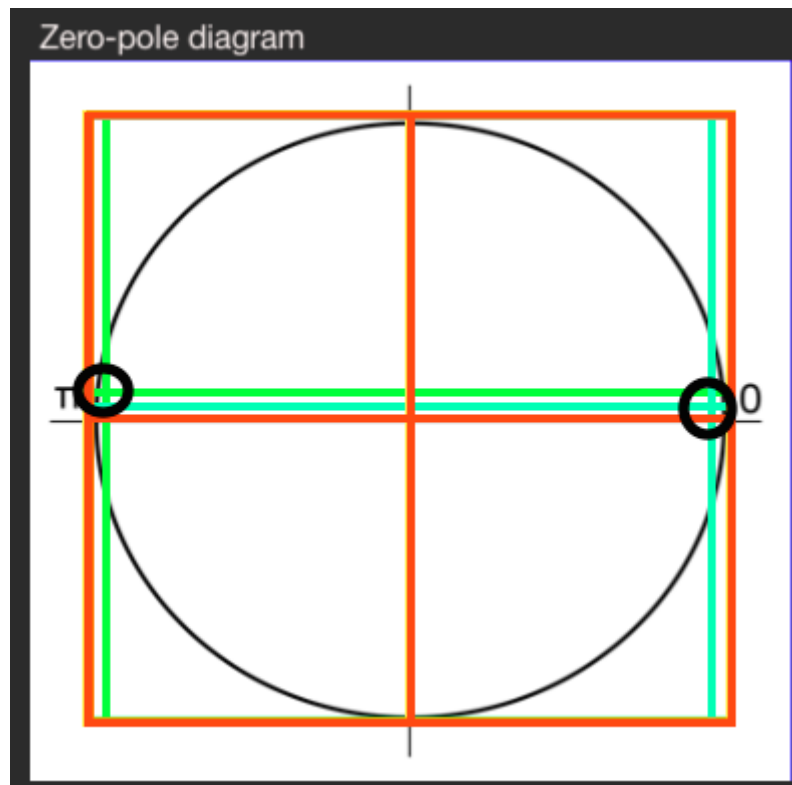
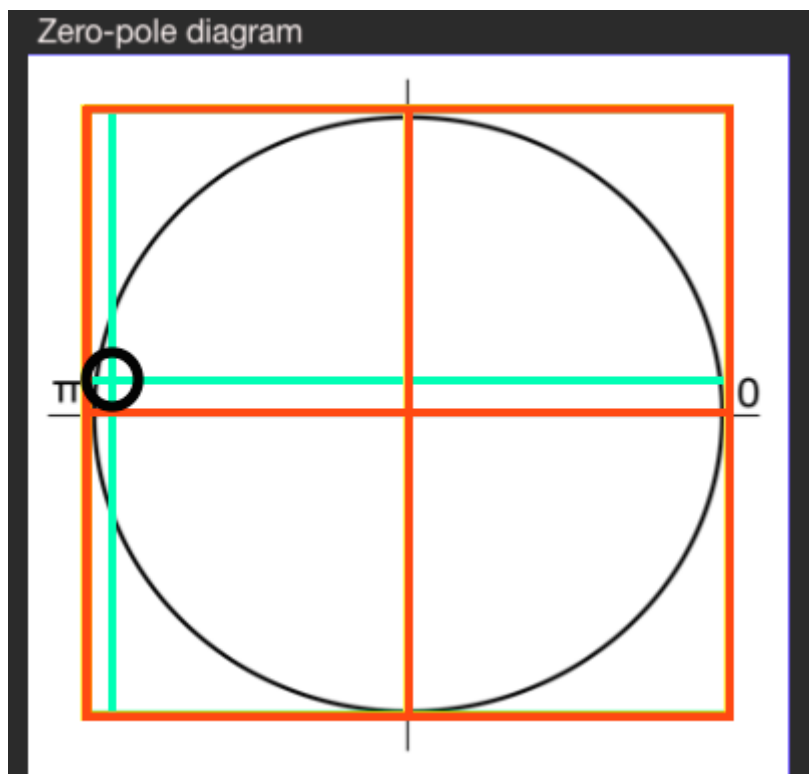
**Bild 1**

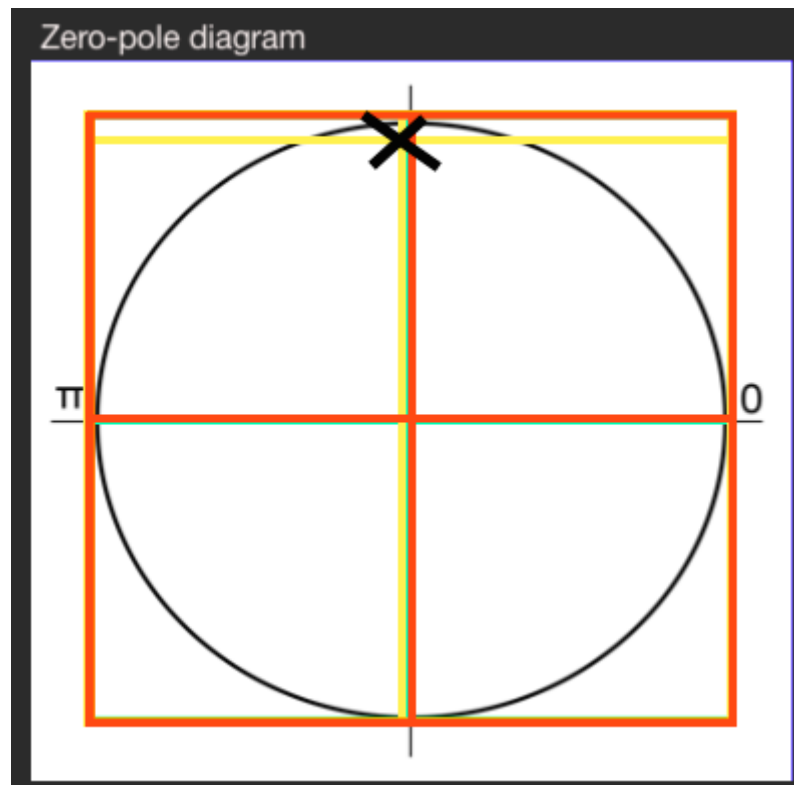


**Bild 2**



**Bild 3**

**Bild 4****Bild 5**



4. Ange vilken av filtertyperna lågpass, högpass, bandpass eller bandspärr som varje bild föreställer

Svara till exempel: bandpass, bandspärr, osäker, ...

---

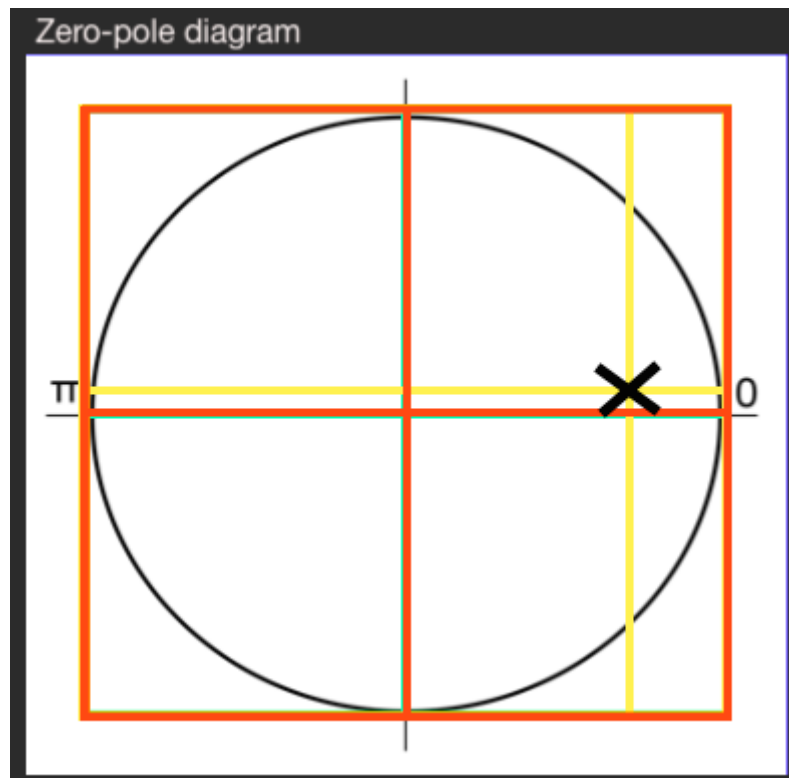
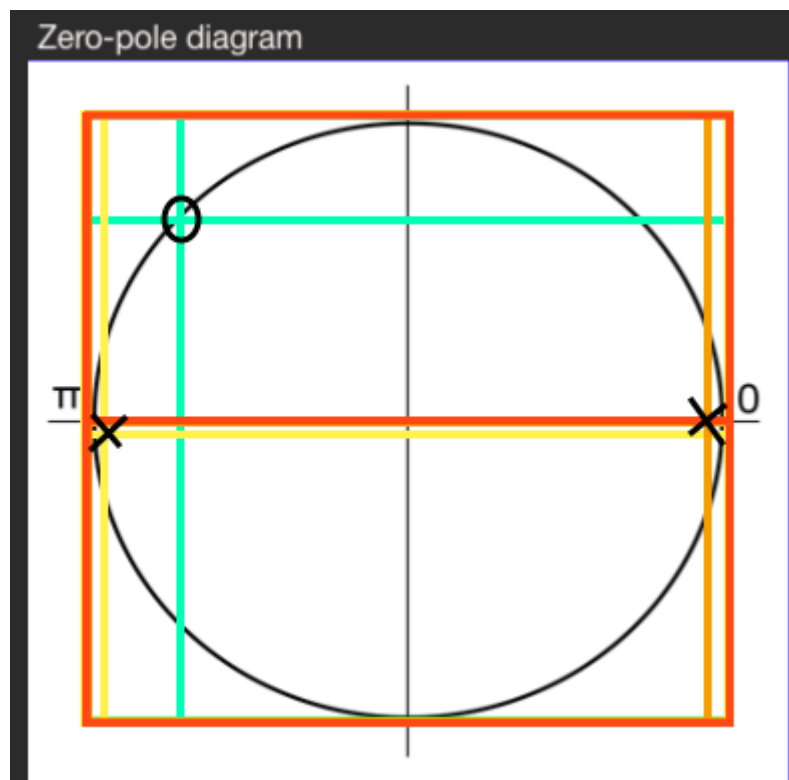
---

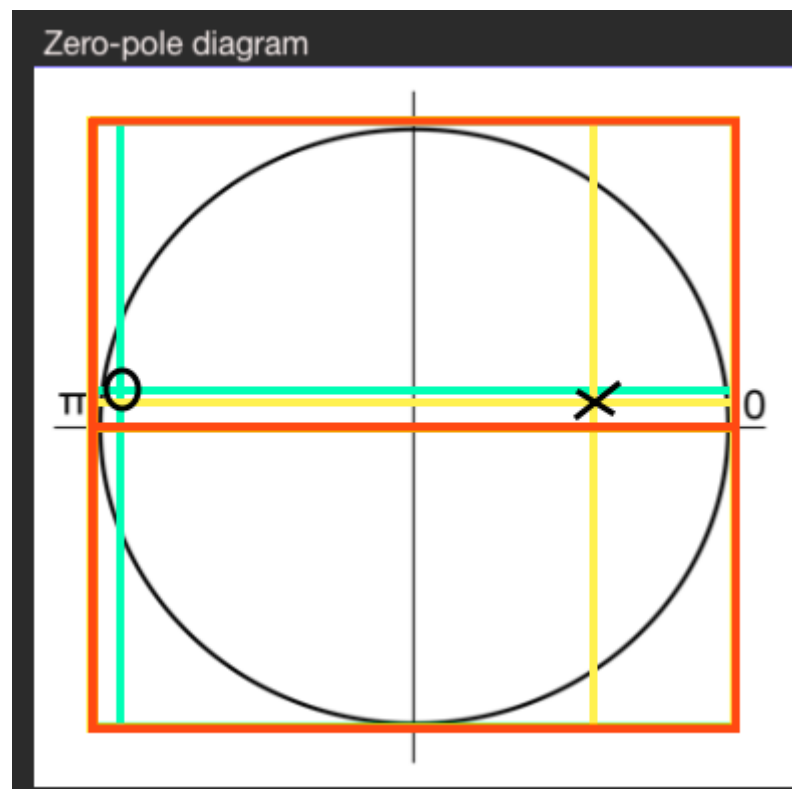
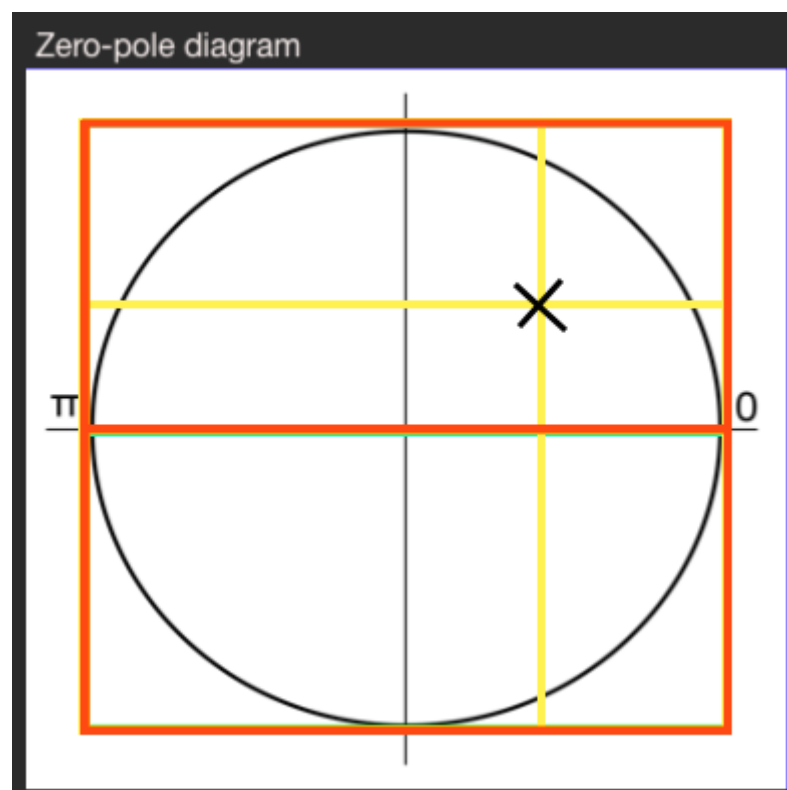
---

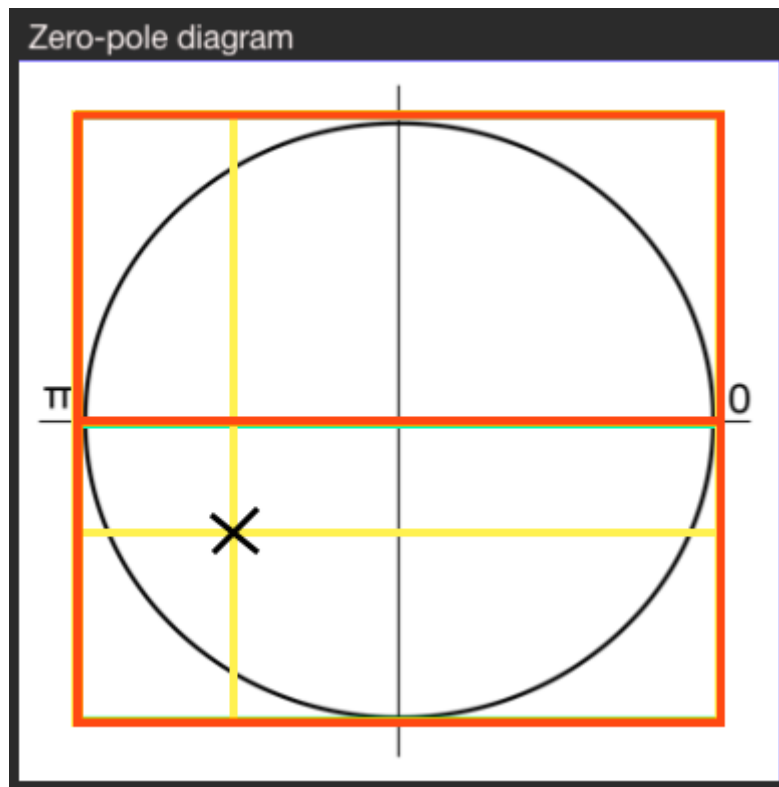
---

---

**Bild 6**

**Bild 7****Bild 8**

**Bild 9****Bild 10**



Tillhandahålls av



## Enkät för användare

En enkät om användarupplevelsen av visualiseringsverktyget i Marcus Groths kexjobb.

1. ID

---

2. Vad gillade du med verktyget?

Gränssnitt, funktioner, utseende, et cetera

---

3. Vad skulle du vilja förändra med verktyget?

Gränssnitt, funktioner, utseende, et cetera

---

4. Tycker du att verktyget var ett bra sätt att lära sig om filter? Om ja, säg varför!

---

---

Tillhandahålls av





