

1. Bilaga 1: Studieplan för utbildning på forskarnivå i tillämpad matematik och beräkningsmatematik

Gemensamma föreskrifter för utbildningen på forskarnivå vid KTH finns angivna i KTHs föreskrifter för utbildning på forskarnivå. Denna studieplan kompletterar dessa gemensamma föreskrifter med ämnesspecifika anvisningar för forskarutbildningsämnet tillämpad matematik och beräkningsmatematik.

1.1. Ämnesbeskrivning samt mål för utbildningen

Matematik används inom vitt skilda områden i vårt samhälle. Tillämpad matematik används ofta som samlingsnamn för matematiska ämnen, där matematiken i sig inte står i fokus, utan det är användandet av matematiken som är det centrala. Beräkningsmatematik används som samlingsnamn för numeriska beräkningar som vilar på matematisk grund. Doktorsprogrammet i tillämpad matematik och beräkningsmatematik har huvudfokus mot tre specifika områden: (i) matematisk statistik, (ii) numerisk analys, (iii) optimeringslära och systemteori. Dessa områden beskrivs närmare nedan, och utgör huvudinriktningar i forskarutbildningsämnet. Dessa områden ger tillsammans ett brett utbud av kurser och forskningsinriktningar som speglar de verksamhetsbaser som finns på KTH då programmet grundas. Andra inriktningar inom ämnet kan också komma ifråga, och programmet är tänkt att dynamiskt kunna inkludera nya huvudinriktningar över tiden.

Utbildningen på forskarnivå i tillämpad matematik och beräkningsmatematik ges gemensamt av institutionen för matematik vid skolan för teknikvetenskap och avdelningen för numerisk analys vid skolan för datavetenskap och kommunikation.

1.1.1. Inriktning mot matematisk statistik

Matematisk statistik bygger på sannolikhetskalkyl. Sannolikhetskalkyl är ett intuitivt naturligt sätt att genomföra rationella resonemang under osäkerhet. Sannolikhetskalkylen har utvecklats från intuition till en rigorös gren av matematiken och studerar därmed exakta matematiska modeller, olika sannolikhetsfördelningar och stokastiska processer, genom att bevisa matematiska teorem om deras egenskaper utifrån en axiomatisk formulering av sannolikhetsmåttet. Den statistiska teorin, även kallad den statistiska inferensen, tar fram algoritmer och metoder för inläring, prediktering och styrning genom att utnyttja olika sannolikheteoretiska modeller eller familjer av modeller. Den statistiska teorin ger principer för hur man på ett koherent sätt skall kombinera data med en sannolikheteoretisk modell. Den statistiska teorin sysslar därför med metoder för val mellan olika familjer av modeller i en given situation samt med principer för val av den mest sannolika modellen för data. Sannolikheteorin och den statistiska teorin är därför intimt förknippade med varandra. Den senare bygger på den förra och ger ofta upphov till sannolikheteoretiska problem. Matematisk statistik är ett forskningsområde i snabb utveckling och har många kontaktytor med tillämpad forskning, inte minst inom de tekniska vetenskaperna. Spännande och expanderande tillämpningar har uppstått under 1990-talet inom finansindustrin, och inom biomedicin och -teknik samt inom de molekylära

livsvetenskaperna. Samtidigt har nya tekniker för dataanalys med förankring i teoretisk datalogi börjat inkorporeras i matematisk statistik. Matematisk statistik är en inriktning inom doktorsprogrammet i tillämpad matematik. Detta är både naturligt och nyttigt, eftersom en professionell matematisk statistiker behöver behärska ett stort antal effektiva verktyg från andra områden i tillämpad matematik.

1.1.2. Inriktning mot numerisk analys

Numerisk analys är metodvetenskapen för numeriska beräkningar, inom teknik och vetenskap. Ämnet innehåller inslag av matematisk analys, matematiska modeller för tillämpningar, numeriska experiment, samt studium av programvarumetodik, datorkommunikation och datastrukturer för storskaliga beräkningar. Beräkningsvetenskap är tvärvetenskapligt och har gränssytor mot matematik, datavetenskap och olika tillämpningar.

Utbildningen på forskarnivå inriktad mot numerisk analys skall ge de studerande fördjupade kunskaper i numerisk analys och i angränsande discipliner, träning i forskningsmetodik och god insikt om den aktuella forskningen i ämnena. Målet för utbildningen är att ge de studerande förmåga att självständigt och kritiskt planlägga, leda, genomföra och redovisa projekt inom respektive ämnesområden. Innehåll och form skall anpassas till de krav som ställs på professionell verksamhet: specialist- och spets-kompetens i någon central disciplin och tillräcklig bredd för produktivt samarbete med andra specialister.

Forskningen i ämnet vid KTH ägnas främst åt numerisk lösning av differentialekvationer som modellerar hur fenomen med vitt skilda skalor i tid och rum interagerar, med tillämpning på t.ex. strömningsmodeller, vågutbredning och molekylsystem. Deterministiska och stokastiska differentialekvationer är fundamentala för modelleringen i ekonomi, teknik, medicin och naturvetenskap. Den ökande beräkningskapaciteten gör det möjligt att använda noggrannare differentialekvationsmodeller och lösa svårare problem: t.ex. att använda mer fundamentala modeller och att bättre anpassa modellen till mätdata. Behandling av dessa modeller ställer ofta krav på god kunskap från flera discipliner och skärpa i teknik. Realistiska modeller kräver storskaliga datorberäkningar, och forskningen är även inriktad mot algoritmer, metoder och programvaruteknik i skalbara (distribuerade) datormiljöer. Ämnet kommer fortsatt att vara helt central för utvecklingen i natur- och ingenjörsvetenskaperna, och för framtagning av ingenjörsverktyg för industri och förvaltning.

1.1.3. Inriktning mot optimeringslära och systemteori

Optimeringslära och systemteori är ett tillämpat matematiskt ämne som innefattar dels matematisk teori för optimala beslut och styråtgärder, dels matematisk analys av dynamiska förlopp. Ämnets starka anknytning till tillämpningarna innebär att formulering av verkliga problem i matematisk form också intar en central plats. Målet för utbildningen på forskarnivå är att ge en bred överblick över ämnet, samt fördjupning och vetenskaplig skolning inom något specifikt forskningsområde som faller inom ämnets ram.

Forskningen vid avdelningen för optimeringslära och systemteori omfattar metoder för storskalig icke-linjär optimering med tillämpningar inom strukturoptimering och strålterapi; optimering och styrning av kommunikationsnätverk; frågeställningar inom matematisk systemteori, med speciell fokus på stokastiska system och filtrering; robust och icke-linjär styrteori med tillämpningar mot robotik. Det finns ett stort spann i forskningen, från grundläggande forskning till mer tillämpad forskning som utförs i samarbete med industriföretag.

1.2. Mål för utbildningen på forskarnivå i tillämpad matematik och beräkningsmatematik

Målet för utbildningen på forskarnivå i tillämpad matematik och beräkningsmatematik är att ge den studerande goda kunskaper inom ämnesområdet och förmåga att bedriva självständigt forsknings-, utvecklings-, undervisnings- och utredningsarbete inom skilda områden av samhället.

Detta innebär att doktorander efter utbildningen ska kunna:

1. beskriva och förklara teorier, konstruktionsprinciper och empiriska resultat i sitt specialiseringsområde,
2. formulera konkreta forskningsfrågor inom sitt specialiseringsområde,
3. använda etablerade forskningsmetoder och utveckla ny kunskap,
4. kritiskt analysera och värdera egna och andras forskningsresultat,
5. presentera och diskutera forskningsresultat för kollegor, allmänhet och i undervisning,
6. analysera och ta ställning i etiska aspekter av forskning inom ämnet och agera därefter,
7. delta i tvärvetenskapliga samarbeten samt visa kunskap om olika syner på forskningens roll i samhällsutvecklingen och kritiskt analysera och värdera därmed sammanhängande frågor,
8. identifiera behov av ny och ha kunskap om att initiera och leda forskning.

Samtliga av de ovan uppräknade färdigheterna bör på ett naturligt sätt utvecklas under handledningsprocessen. Kurser bör bidra till att utveckla färdigheterna beskrivna i 1, 3, 6 och 7. Att delta i seminarier samt att undervisa och delta i konferenser bidrar till att utveckla färdigheterna beskrivna i 2, 4, 5 och 8.

1.3. Utbildningens uppläggning

Utbildningen bedrivs under ledning av en huvudhandledare tillsammans med en eller flera biträdande handledare. En individuell studieplan skall upprättas i samråd mellan doktorand och huvudhandledare. Doktorandens framsteg ska bedömas minst en gång per år i samband med revision av den individuella studieplanen som ska

göras av doktorand och huvudhandledare. Den upprättade eller reviderade planen fastställs av forskarutbildningsansvarig vid respektive skola. Om doktorandens framsteg inte är i närheten av vad som föreskrivits i studieplanen kan åtgärder vidtagas i enlighet med KTHs regelverk. Den individuella studieplanen skall anpassas till förkunskaperna samt till avhandlingens inriktning.

Utbildningen på forskarnivå består av en kursdel och en avhandlingsdel, med inbördes poängkrav enligt nedan.

1.4. Obligatoriska och rekommenderade kurser

Doktoranden ska själv, i samråd med sin huvudhandledare, ta ansvar för att kurserna väljs så att en tillräcklig fördjupning inom den valda inriktningen samt en lämplig breddning inom programmet och mot relevanta tillämpningsämnen uppnåtts.

Fördjupningskurserna ges inom de tre huvudinriktningarna. Ett urval av kurserna är *kärnkurser*, som ger en uppsättning av kurser som ges regelbundet och är lämpliga för alla doktorander i tillämpad matematik och beräkningsmatematik. Dessa kurser är de centrala kurserna som utgör en gemensam bas för programmet och läses normalt av alla doktorander inom programmet.

Övriga profilkurser som anges är ett urval av de kurser som ges inom huvudinriktningarna. Ytterligare kurser kan komma ifråga.

1.5. Centrala kurser

De centrala kurserna inom programmet ges av kärnkurserna inom huvudinriktningarna. Dessa kurser är:

- Sannolikhetsteori, Probability Theory
- Numerical methods for PDE
- Numerical linear algebra
- Konvexitet och optimering i linjära rum

De centrala kurserna ges regelbundet och utgör en gemensam bas för programmet.

1.5.1. Fördjupningskurser med inriktning mot matematisk statistik

Kärnkurs:

- Sannolikhetsteori, Probability Theory

Övriga kurser:

- Konvergens av sannolikhetsmått, Weak convergence
- Markovkedjor och processer, Markov chains and processes
- Stokastisk kalkyl, Stochastic Calculus
- Statistisk slutledning (inferensteori), Statistical inference
- Inferens för stokastiska processer, Inference for stochastic processes
- Probabilistiska metoder i bioinformatik, Probabilistic methods in Bioinformatics
- Stationär processer, Stationary processes

- Linjära modeller och försöksplanering och dataanalys, Linear Models, experimental design and data analysis
- Algebraisk statistik, Algebraic Statistics
- Bayesianska nätverk, Bayesian networks
- Stora avvikelser och importance sampling, Large deviations and importance sampling
- Slumpmatriser, Random matrices
- Evolutionary game theory

1.5.2. Fördjupningskurser med inriktning mot numerisk analys

Kärnkurser:

- Numerical methods for PDE
- Numerical linear algebra

Övriga kurser:

- Finite element method
- Numerical solution of stochastic differential equations
- Numerical methods for ODE
- Introduction to high-performance computing
- Advanced flow computations
- Inverse problems
- Numerical algorithms for parallel computations
- Computational methods for micro and macro scales
- Classical problems of numerical analysis
- Numerical methods for time-dependent PDE

1.5.3. Fördjupningskurser med inriktning mot optimeringslära och systemteori

Kärnkurs:

- Konvexitet och optimering i linjära rum

Övriga kurser:

- Nonlinear Systems: Analysis and Control
- Nonlinear Systems Analysis
- Numerical nonlinear programming
- Numerical linear programming
- Integer programming - practical algorithms
- Combinatorial optimization
- Convexity and Duality in R^n
- Linear Stochastic Systems
- Robust control
- Convex optimization with engineering applications

1.5.4. Forskningsfärdighetskurser

Doktorander i ämnet ges även möjlighet att utveckla generella färdigheter i kommunikation och vetenskapsteori.

- Research: Theory, methods, practice

1.5.5. Breddningskurser i matematik

Relevanta kurser i matematik på avancerad nivå och doktorandnivå är lämpliga breddningskurser inom programmet. Exempel på sådana kurser:

- Partial differential equations
- Funktionalanalys, Functional Analysis
- Kombinatorik, Combinatorics
- Integrationsteori
- Partial Differential Equations
- Distributionsteori, Theory of distributions

1.5.6. Breddningskurser i andra ämen

Beroende på inriktningen av avhandlingsarbetet är det ofta relevant att läsa kurser från andra ämnen, exempelvis metod- och tillämpningskurser som naturligt ingår i den individuella studieprofilen. Några exempel kan vara kurser inom signalteori, robotstyrning, medicinsk teknik.

1.5.7. Övriga kurser

I kursdelen kan också ingå kurser med inriktning mot högskolepedagogisk utbildning. Sådana kurser är dock ett krav om undervisning inom grundutbildningen skall ske under utbildningstiden.

1.5.8. Seminarieverksamhet

Studeranden på forskningsnivå skall under sin utbildningstid ta del i och bidra till den vetenskapliga aktivitet som bedrivs inom sin inriktning genom att bevista seminarier och normalt ge ett seminarium per år om sitt avhandlingsarbete. Varje eget seminarium värderas till 1hp, sammanlagt tillgodoräknas högst tre seminarier (3hp) per år.

1.5.9. Poängtal

I KTHs föreskrifter för utbildning på forskarnivå regleras nivån på kurser i kursdelen. Enligt nuvarande regelverk ska för doktorsexamen minst 60% av kurspoängen vara på forskarnivå, för licentiatexamen 50%.

För doktorsexamen ska poängtalet vara 240hp. Kursdelen ska omfatta minst 100hp och avhandlingsdelen ska omfatta minst 120hp. Minst 60hp av kurserna ska vara kurser inom programmet på forskarnivå, eller motsvara sådana kurser.

För licentiatexamen ska poängtalet vara 120hp. Kursdelen ska omfatta minst 50hp och avhandlingsdelen ska omfatta minst 60hp. Minst 30hp av kurserna ska vara kurser inom programmet på forskarnivå, eller motsvara sådana kurser.

Avsteg från de angivna poängtalerna kan göras om synnerliga skäl föreligger.

1.5.10. Avhandling och licentiatuppsats

Arbetet med avhandlingen eller licentiatuppsatsen bör påbörjas snarast efter det att utbildningen på forskarnivå startats. Ämnet för avhandlingen skall väljas i samråd med huvudhandledare, och bör ansluta till den forskning som finns vid de berörda institutionerna.

Avhandlingen respektive licentiatuppsatsen är en obligatorisk del av utbildningen på forskarnivå. Utbildningen syftar i denna del till att den studerande ska utveckla en förmåga att ge självständiga bidrag till forskningen samt också en förmåga till vetenskapligt samarbete, inom och utom det egna ämnet. Avhandlingen respektive licentiatuppsatsen ska innehålla nya forskningsresultat som den studerande har utvecklat, själv eller i samarbete med andra. De vetenskapliga huvudresultaten ska uppfylla kvalitetskraven för publicering i internationellt erkända tidskrifter med refereesystem. Studerandens bidrag till i avhandlingen ingående texter som har flera författare ska kunna särskiljas.

Avhandlingen respektive licentiatuppsatsen ska normalt skrivas på engelska. Den kan antingen utformas som en sammanläggning av vetenskapliga artiklar eller som en monografiavhandling. I det förra fallet ska finnas en särskilt författad sammanfattning. Oavsett om avhandlingen avses bli monografi eller sammanläggningsavhandling ska internationell publicering av uppnådda resultat eftersträvas under doktorandperioden.

1.6. Behörighetsvillkor och urval

För behörighet att antas till utbildningen på forskarnivå krävs att den sökande uppfyller dels villkor för grundläggande behörighet, dels villkor för särskild behörighet, och har sådan förmåga i övrigt som behövs för att gå igenom utbildningen.

1.6.1. Grundläggande och särskild behörighet samt förkunskaper

Grundläggande behörighet definieras av allmänna regler enligt högskoleförordningen och KTHs interna föreskrifter för utbildning på forskarnivå.

För särskild behörighet krävs att den sökandes utbildning på avancerad nivå har en inriktning mot matematik, tillämpad matematik eller beräkningsmatematik i vid mening. Dessutom krävs goda kunskaper i engelska, såväl i tal som i skrift.

1.6.2. Regler för urval

Urvalet görs bland de sökande som uppfyller behörighetskraven. Vid urvalet utgör graden av sökandens mognad, förmåga till självständigt omdöme och kritisk analys viktiga aspekter. Särskild vikt läggs vid studieresultaten i kurser av fördjupningskaraktär eller i form av självständiga arbeten som t ex examensarbetet.

1.7. Examina och prov i utbildningen

1.7.1. Licentiat- och doktorsexamen

Licentiat- och doktorsexamen avlägges i enlighet med KTH:s generella regler.

1.7.2. Prov som ingår i utbildningen

Inga övriga obligatoriska prov ingår i utbildningen.