



Sveriges
lantbruksuniversitet



Utvärdering av enskilda avlopps betydelse för vattenkvaliteten i sjön Trehörningen

Examensarbete, 20 p

av

Caroline Orback



Handledare:
Mats Wallin, Avdelningen för Miljöanalys SLU Uppsala
Anders Larsson, VA-kontoret Uppsala kommun

Institutionen för Miljöanalys, SLU
Box 7050, 750 07 Uppsala

Rapport 2007:7

Utvärdering av enskilda avlopps betydelse för vattenkvaliteten i sjön Trehörningen

Evaluation of importance of on private household sewage effluents on
water quality in Lake Trehörningen

Examensarbete, 20 p

av

Caroline Orback

Institutionen för miljöanalys, SLU
Box 7050
750 07 Uppsala
www.ma.slu.se

*Tryck:*Institutionen för miljöanalys, SLU, 2007

ISSN 1403-977X

Förord

Det här examensarbetet avslutar min utbildning inom Naturresursprogrammet biologi/mark vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala. Studien är ett 20 poängs examensarbete med inriktning biologi. Examensarbetet har gjorts på uppdrag av VA- och avfallskontoret i Uppsala kommun med handledning från Institutionen för miljöanalys, SLU.

Under utbildningen har mitt intresse för vattenvård, enskilda avlopp, miljöanalys samt MKB (Miljökonsekvensbeskrivning) väckts och vuxit. Enskilda avlopps betydelse för vattenkvaliteten i sjöar och vattendrag var vad jag ville fördjupa mig i under perioden för examensarbete. Handledare för examensarbetet har varit Anders Larsson på VA- och avfallskontoret på Uppsala kommun samt Mats Wallin på Institutionen för miljöanalys vid SLU.

Jag vill framföra ett tack till dem som hjälpt till med information och som funnits där för inspiration, stöd och hjälp med rapporten.

Uppsala, juli 2007

Caroline Orback

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	6
SUMMARY	7
ORDLISTA	8
1. INLEDNING	9
1.1 SYFTE.....	9
1.2 DISPOSITION.....	10
1.3 AVGRÄNSNINGAR.....	10
2. BAKGRUND	11
2.1 OMRÅDESBESKRIVNING	11
2.2 SJÖARNA	12
2.2.1 Gårsjön.....	12
2.2.2 Trehörningen.....	12
2.2.3 Ramsen	13
2.2.4 Norrsjön.....	13
2.2.5 Edasjön.....	13
2.3 SEDIMENT	14
2.3.1 Allmänt	14
2.3.2 Internbelastning.....	14
2.4 VATTENKEMI	15
2.4.1 Fosfor	15
2.4.2 Algblomning	15
2.5 ENSKILDA AVLOPP	15
2.6 KÄLLFÖRDELNING.....	16
3. MATERIAL OCH METOD	17
3.1 SEDIMENTPROVER	17
3.2 VATTENKEMIPROV	18
3.3 ENSKILDA AVLOPP	18
3.4 KÄLLFÖRDELNING.....	21
3.5 SCENARIOMODELLERING.....	25
4. RESULTAT OCH DISKUSSION	26
4.1 SEDIMENTPROV	26
4.2 VATTENKEMIPROVER	27
4.3 ENSKILDA AVLOPP	29
4.4 KÄLLFÖRDELNING.....	32
4.5 SCENARIOMODELLERING.....	35
5. SLUTSATSER	36
6. REFERENS	38

BILAGA 1. Djupkartor

BILAGA 2. Typhalter

BILAGA 3. Analysresultat sediment

BILAGA 4. Bakgrundshalter

BILAGA 5. Analysresultat vattenkemi

BILAGA 6. Markanvändning och källfördelning

Sammanfattning

I Uppsala kommun är det ont om fina badsjöar. Trehörningen med dess vackra omgivningar har sedan början av 1900-talet varit ett uppskattat och viktigt område för rekreation och friluftsliv och många har också valt att bosätta sig i anslutning till sjön. Det finns en oro att den fosfor som släppts ut genom åren, från enskilda avlopp, och som nu finns lagrade i sedimenten ska börja läcka ut och leda till omfattande och återkommande algbloomningar.

Med anledning av detta har denna studie av enskilda avlopps betydelse för vattenkvaliteten i Trehörningen utförts på uppdrag av VA- och avfallskontoret och med handledning från Institutionen för Miljöanalys vid SLU. I studien ingår även de uppströms belägna sjöarna Ramsen, Norrsjön och Edasjön samt nedströms liggande Gårsjön. Vattenkemiska undersökningar har utförts i både sjöar och tillrinnande vattendrag. Sedimentprofiler har tagits i Trehörningen och Ramsen och analyserats med avseende på olika fosforfraktioner. Bearbetning av materialet har skett med hjälp av GIS och Fyrismodellen. Fyrismodellen inbegriper beräkningar av transport, retention och källfördelning av fosfor i avrinningsområdesskala. Information om enskilda avlopp i området har sammanställts.

Resultaten visar att det inom hela det studerade området finns 256 fastigheter med enskilt avlopp. Det råder stor osäkerhet beträffande avloppens status men 30-40 % bedöms sakna fullgod rening. Enskilda avlopp är den största externa fosforkällan till Trehörningen, cirka 90 kg/år av de totalt 220 kg/år medan skogsmark bidrar med 70 kg/år samt åker och övrig markanvändning med 60 kg/år. Sjön har betydligt högre fosforhalter än vad som kan anses naturligt och stundtals föreligger risk för algbloomning, något som inträffade i Norrsjön september 2004 (se figur nedan). Undersökningarna bekräftar dessutom att det finns stora mängder fosfor lagrade i Trehörningens sediment (3,5 ton) och att det föreligger en intern belastningspotential, dvs. att det finns betydande mängder av de fosforfraktioner som läcker ut från sedimenten vid syrgasfria förhållanden. Trehörningens internbelastning beräknas till 50-75 kg/år. Dessutom har studien visat att även Ramsen sediment innehåller 3,5 ton fosfor och betingelserna i sjön främjar en hög internbelastning av fosfor som successivt transporteras till Trehörningen. Den omvandling av fritidshus till permanentboende som sker i området kan leda till att avloppsvatten förorenar fastigheternas dricksvattenbrunnar alternativt leder till ytterligare utsläpp till Trehörningen.



Algbloomning i Norrsjön, uppströms Trehörningen, september 2004

Summary

Lake Trehörningen with its beautiful surroundings is an important area for recreation. Many people have also chosen to settle permanently in the area close to the lake. Over the years large amounts of phosphorous is believed to have leaked from the settlement into the lake. Especially waste water sewage effluents from private households are believed to have contributed with large amounts of phosphorous. Repeated and widespread toxic algal blooms would be a nightmare for this popular lake, but it is a very possible outcome if the level of phosphorus continues to increase.

This is a study of the water quality in Lake Trehörningen and the impact of private household sewage effluents. The study has been done on behalf of Uppsala municipality department of Water, Wastewater and Waste and under the supervision of the department of Environmental Assessment, SLU. The study also includes three upstream lakes (Lake Ramsen, Lake Norrsjön and Lake Edasjön) and one downstream lake (Lake Gårsjön).

Water samples and sediment profile were collected and analysed along with information on the private waste water treatment plants and processed in GIS and the Fyrismodel. The Fyrismodel is a tool for catchment-scale modelling of source apportioned gross and net transport of nitrogen and phosphorus. Information on waste water treatment for private households has been compiled.

In the entire studied region there are 256 houses with waste water treatment for private households. Out of them about 30-40 % are estimated to lack satisfactory levels of purification. Leakage of waste water from private households is the greatest external source of phosphorus to Lake Trehörningen, approximately 90 kg phosphorus /year of the total 220 kg phosphorus/year. Forest land and other land-use contribute with the remaining 70 and 60 kg phosphorus /year. The lake water contains more phosphorous than can be considered natural and the risk of toxic algal blooms is substantial. An algal bloom already occurred in Lake Norrsjön in September 2004 (Figure A). This study confirm that large amounts (approx 3.5 tons) of phosphorus are stored in the sediments of Lake Trehörningen. If the water becomes oxygenfree the phosphorus in the sediments may leak back into the water. Approximately 50-75 kg phosphorus is estimated to leak from the sediments each year. Also Lake Ramsen upstream from Lake Trehörningen has large amounts of phosphorus stored in its sediments, phosphorus that successively is transported downstream to Lake Trehörningen.

Ordlista

Benämning	Förklaring
Akkumulationsbotten	Botten där det sker en kontinuerlig ackumulation av sediment.
Antropogen	Skapat av människan.
Avrinningsområde	Ett landområde, inklusive sjöar, som avvattnas via samma vattendrag. Området avgränsas av topografin som skapar en vattendelare. Det vill säga all nederbörd som faller inom avrinningsområdet rinner ut via vattendrag i samma utloppspunkt.
BDT-vatten	Avloppsvatten från bad/dusch, disk och tvätt
Enskilda avlopp	Avloppsanläggningar som behandlar hushållspillvatten från enstaka hushåll och från gemensamhetsanläggningar dimensionerade för upp till 25 personekvivalenter.
Eutrofiering	För hög tillförsel av näringsämnen (fosfor och kväve) till en sjö eller ett vattendrag, vilket leder till problem såsom algbloomning och syrebrist.
Hushållsavloppsvatten	BDT-vatten och toalettvatten.
Infiltration	Rening av avloppsvattnet genom naturliga jordlager och diffust sprids via marken till grundvattnet.
Markbädd	Rening av avloppsvattnet genom filtrering genom sand och jordlager. Vattnet samlas därefter upp och leds ut till ett dike, en å, en sjö eller direkt till havet.
Minireningsverk	Prefabricerad anläggning som bygger på nedskalad teknik från stora reningsverk ofta mekanisk, biologisk och kemisk rening, ibland bara biologisk eller bara kemisk rening.
Mobilt P (fosfor)	Fosfor som med tiden kommer att frigöras från sediment till vatten som biotillgängligt fosfor.
Mulltoalett	Liten biologisk toalett där avfallet samlas i en mindre behållare under toaletten. Kräver vanligtvis placering i uppvärmt utrymme och el-anslutning.
Pe	Personekvivalenter.
Recipient	Sjö, vattendrag eller havsvik där avloppsvattnet släpps ut. Även grundvattnet kan vara recipient.
Resorption	Reningsteknik där vattnet släpps ut i ett grunt bevuxet dike som är tätt i botten. Reningen består dels i att avloppsvattnet dunstar till luften, dels i att organiskt material fastläggs och bryts ned biologiskt.
Retention	Förlust av näring i sjöar och vattendrag genom sedimentation, upptag av växter och denitrifikation.
Slamavskiljare	Vanligen trekammarbrunn där större partiklar sjunker till botten och ansamlas som slam.
Sluten tank (SLU)	Tank som samlar upp klosettavlopp. Ansluts helst bara till extremt snålspolande toaletter. Lösningen används i särskilt känsliga områden eller där det inte går att lösa avloppsfrågan på annat sätt.
Toalettavloppsvatten	Avloppsvatten från toalett/wc.
Trekammarbrunn	Slamavskiljare där vattnet passerar genom tre kammare.
Övergödning	Se eutrofiering.

1. Inledning

I Uppsala kommun är det ont om fina badsjöar. Sjön Trehörningen (Figur 1) med dess vackra omgivelser utgör därför ett viktigt område för rekreation och friluftsliv i kommunen. En viss oro har uttryckts över att Trehörningen ska drabbas av omfattande algblooming då det vid ett par tillfällen observerats en tydlig planktongrumlighet i vattnet (Anders Larsson, muntl.). En bidragande orsak till den ökande näringshalten i sjön kan vara permanent utflyttning till sommarstugor, vilket ökar belastningen från enskilda avloppsanläggningar. En annan möjlig orsak till den ökande näringshalten kan vara internbelastning från sedimenten i sjön och från i den uppströms belägna sjön Ramsen. Vid ett mätillfälle i oktober 2006 innehöll bottenvattnet i Ramsen extremt höga halter av fosfater vilket indikerar ett stort fosforläckage från sedimenten.



Figur 1. Karta över Uppsala med området vid Trehörningen markerat med röd fyrkant. Området avvattnas via Funboån vidare till Sävjaån, Fyrisån och Ekoln, som är en del av Mälaren.

1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera enskilda avlopps betydelse för vattenkvaliteten i sjön Trehörningen. De centrala frågeställningarna är:

- Hur bedöms näringsituationen i sjön idag?
- Hur mycket fosfor finns lagrat i sedimenten och sker internbelastning?
- Hur många enskilda avlopp finns i området och vilka typer av reningstekniker finns?
- Hur stor andel av den totala fosforbelastningen utgör utsläppen från enskilda avlopp?
- Beroende på hur kommunen väljer att hantera de enskilda avloppen i området, hur påverkar det sjön Trehörningen om ca 50 år?

1.2 Disposition

I examensarbetet läggs störst fokus på sjön Trehörningen, men för att få en bättre helhetsbild studeras även tre sjöar uppströms och en sjö nedströms.

En *litteraturstudie* har gjorts för att sammanställa den information som finns om sjöarna. Denna sammanställning återfinns under rubriken bakgrund. *Sedimentprov* har tagits i Trehörningen och Ramsen för att undersöka hur mycket fosfor sedimenten innehåller och om de kan läcka fosfor (internbelastning). *Vattenkemipro*v har tagits i sjöarnas tillflöden för att få en uppfattning om skillnaden i belastning från olika delar av tillrinningsområdet. *Källfördelning* och transport av fosfor till sjöarna i området har modellerats. I källfördelningen har särskilt fokus lagts på att få bra uppgifter på de enskilda avloppen och därför har kommunens tillstånds-, slamtömnings- och fastighetsregister utgjort basen för studien. Sedan har framtidsscenarioer modellerats för att se hur Trehörningen kommer att ”må” om ca 50 år beroende på hur kommunen väljer att hantera de enskilda avloppen.

1.3 Avgränsningar

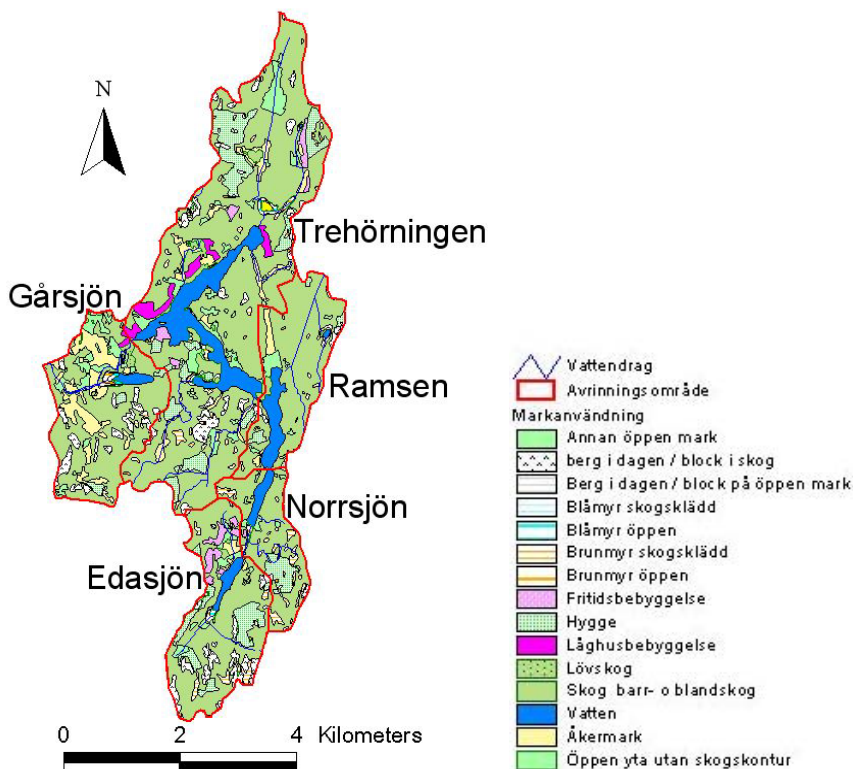
De schablonvärden som vanligen används för att beräkna för utsläpp från enskilda avlopp är behäftade med en stor osäkerhet, då det inte finns tillräckligt med avloppsinventeringar inom området och det är svårt att mäta hur mycket näringsämnen som lämnar anläggningarna. Det är svårt att få ett schablonvärde som är representativt för varje reningsteknik då ålder och konstruktion av anläggningar har stor betydelse för reningsgraden. Information om enskilda avloppsanläggningar i området har sammanställts ur kommunens register.

Källfördelningsmodellen har körts för hela Sävjaån men resultaten har utvärderats enbart för studiens fem delavrinningsområden och i vissa fall endast för Trehörningen. Vid modellering av framtidsscenarierna har ingen hänsyn tagits till eventuella klimatförändringar.

2. Bakgrund

2.1 Områdesbeskrivning

Det studerade området är ett sjörikt sprickdalslandskap. Naturen domineras av barrskogsbevuxna morän- och bergmarker (Figur 2). Insprängda i dessa marker samt vid en del strandpartier ligger många uppodlade eller numera skogsplanterade smala lerstråk. I anslutning till dessa lerstråk finns torp och små gårdar. Totalt sett domineras området av skog med en mycket liten andel åkermark. De större sjöarna omges framför allt av mer eller mindre branta morän- och hållmarksstränder. Vid sjöändarna och en del andra sänkor finns något långgrundare och vassrikare partier. Fina badställen finns vid alla sjöarna utom Gårsjön.



Figur 2. Markanvändning i de fem delavrinningsområdena (Omarbetning av SMHI:s delavrinningsområden och information från ©Lantmäteriverket 1998, Ur GSD terrängkartan dnr 507-98-4720).

Bebyggelsen är till största delen koncentrerad till Trehörningens nordvästra del samt till norra delen av Edasjöns. Det finns ett stort bad med fritidsanläggning vid Fjällnora vid Trehörningens södra ände. Edasjön som ligger högst upp i avrinningsområdet är en referenssjö i Sveriges nationella övervakning.

Hela området är klassat som "nitratkänsligt område" enligt EU:s nitratdirektiv och stora delar som "avloppskänsligt område för fosfor" enligt EU:s avloppsvattendirektiv.

2.2 Sjöarna

De flesta sjöar inom Uppsala kommun är grunda slättlandssjöar vilket medför att de ofta är naturligt näringsrika med grumligt vatten som följd. Sjöarna kring Trehörningen är sprickdalssjöar och mindre näringsrika med klart och fint vatten. Området är därför av stor betydelse för rekreation och friluftsliv.

Alla de undersökta sjöarna klassas som måttligt näringsrika till mycket näringsrika (Brunberg & Blomqvist, 1997). Sjöarna har måttligt färgat vatten och en mycket god buffertkapacitet mot försurning. Gårsjön är något sänkt, till skillnad från de övriga i detta avseende opåverkade sjöarna. Sammanställning av sjöarnas morfometri finns i Tabell 1 och djupkartor finns i Bilaga 1.

Tabell 1. Sjöarnas morfometri.

	Gårsjön	Trehörningen	Ramsen	Norrsjön	Edasjön
Största längd (m)	900	2820	1740	1070	1150
Största bredd (m)	210	2150	250	220	210
Maxdjup (m)	2,5	6,2	11,5	3,0	4,8
Medeldjup (m)	1,5	3,2	6,4	2,0	3
Yta (km ²)	0,16	1,46	0,39	0,17	0,17
Volym (Milj m ³)	0,24	4,7	2,5	0,34	0,48
Teoretisk omsättningstid (dygn)	15	295	406	40	186

2.2.1 Gårsjön

Gårsjön är en måttligt näringsrik sjö och klassas som mesotrof (Brunberg & Blomqvist, 1997). Sjön har en relativt stor utbredning av övervattensvegetation. Syrgashalten vid botten är vintertid dålig och risk för kvävning finns. Att detta ändå inte sker beror på den stora vattentillströmningen och fallhöjden på fem meter som hjälper till att syresätta vattnet. Vid högvatten rinner en viss mängd vatten till ett grävt dike som leder vattnet förbi sjön (Brunberg & Blomqvist, 1997).

Sjön var tidigare avloppsrecipient för 16 hushåll (ca 35 personer) i Marielund. I början på 70-talet grävdes det ovan nämnda diket för att på så sätt leda avloppsvattnet förbi sjön (Jansson m fl, 1977). Sjön blev då avlastad från merparten av dessa utsläpp, men fortfarande gick avloppsvatten från några fastigheter direkt ut i sjön.

2.2.2 Trehörningen

Trehörningens norra del klassas som måttligt näringsrik och den södra delen som näringsrik (Brunberg & Blomqvist, 1997). Övervattensvegetation är rikligt utbredd i den norra delen av sjön, medan den södra och något djupare delen, har ringa vegetationsutbredning. Delvis förklaras skillnaden i näringsstatus av att den norra delen av sjön har mer vattenvegetation som tar upp näring medan näringen i södra delen i högre grad förblir i vattenfasen (Wallsten, 1993). Syrgashalten är god i hela sjön förutom inom några begränsade djupartier (Gunnilstam m fl, 1984). Trehörningen är en relativt grund sjö och har därmed ingen stabil temperaturskiktning, undantaget de två djuphålorna där det periodvis kan uppstå stabil skiktning. Trehörningens tillrinningsområde är litet samtidigt har sjön en lång teoretisk omsättningstid, detta gör att en liten förändring i det tillrinnande vattnet på sikt kan ge stora förändringar i sjön (Mats Wallin, muntl.).

Vattenkvaliteten är mycket god och sjön har ett mycket högt limniskt och rekreativt värde. Vid sjöns norra del finns ett utbrett fritidsboende, som under senare decennier allt mer övergått till permanentboende. Oro har uttryckts över bebyggelsens inverkan på sjöns näringsstatus (Brunberg & Blomqvist, 1997).

Fritidsanläggningen i Fjällnora har fram till 1996 haft Trehörningen som avloppsrecipient (Olof Nordman, muntl.). Toalettvattnet gick till slutna tank och BDT-vatten till en infiltrationsanläggning som fungerade dåligt. Sedan 1996 renas avloppsvattnet i ett minireningsverk (100 pe) med en efterföljande infiltrationsanläggning (Olof Nordman, muntl.) som sedan har Ramsens norra ände som recipient.

2.2.3 Ramsen

Ramsen klassas som en måttligt näringsrik sjö (mesotrof). Syrgashalten under den istäckta perioden är hög (>9 mg O₂/l dec 1988), vilket innebär liten risk för syrgasbrist (Brunberg & Blomqvist, 1997). Däremot kan syrgasbrist uppstå i de djupare delarna av sjön. Ramsen är en typisk sprickdalssjö och en av länets djupare sjöar. Utbredning av övervattensvegetation är ringa på grund av sjöns djup (Brunberg & Blomqvist, 1997). Sjön har god vattenkvalitet och tillsammans med den låga exploateringsgraden får sjön ett mycket högt limniskt värde.

Hösten 2006 uppmättes extremt höga halter av fosfater (ca 600 µg/l) i bottenvattnet i den djupaste delen av sjön (Anders Larsson, muntl.). Vid mättillfället var syrgashalten låg under språngskiktet. I Ramsen är halterna av järn höga och detta kan korreleras med höga färgvärden som orsakas av en riklig tillförsel av humusämnen (Hallgren m fl, 1977).

Ramsens norra ände är recipient för avlopps vatten från fritidsanläggningen i Fjällnora (se 4.2.2 Trehörningen)

2.2.4 Norrsjön

Norrsjön är en fin liten skogssjö med högt limniskt värde. Sjön är måttligt näringsrik (mesotrof) med liten utbredning av övervattensvegetation. Syrgashalten under is är hög (>9 mg O₂/l dec 1988) vilket innebär liten risk för syrgasbrist (Brunberg & Blomqvist, 1997). En algblomning inträffade sensommaren 2004 i Norrsjön (Figur 3.).

Vid Norrsjöns sydvästra strand ligger Norredatorp. Tidigare gick det orenade avloppsvattnet rätt ut i sjön men nu finns infiltrationsanläggning för WC-vattnet.



Figur 3: Algblomning i Norrsjön, uppströms Trehörningen, september 2004

2.2.5 Edasjön

Edasjön är en mycket näringsrik sjö (eutrof) med betydligt färgat vatten och mycket god buffertkapacitet mot försurning (Brunberg & Blomqvist, 1997). Utbredning av övervattensvegetation är ringa utom i södra viken. Edasjön är en av länets referenssjöar i den nationella miljöövervakningen. Vid syrgasmätning konstaterades inga allvarliga problem med syrgashalten i vattnet, men andra undersökningar har visat att förhållanden kan vara mycket ansträngda med risk för kvävning (Brunberg & Blomqvist, 1997).

Vid Edasjöns nordvästra del finns en utbredd fritidsbebyggelse. Många hus har sluten tank till toalettvattnet och BDT går till resorptionsanläggning eller infiltration. Påverkan på Edasjön från enskilda avlopp bör således vara liten.

2.3 Sediment

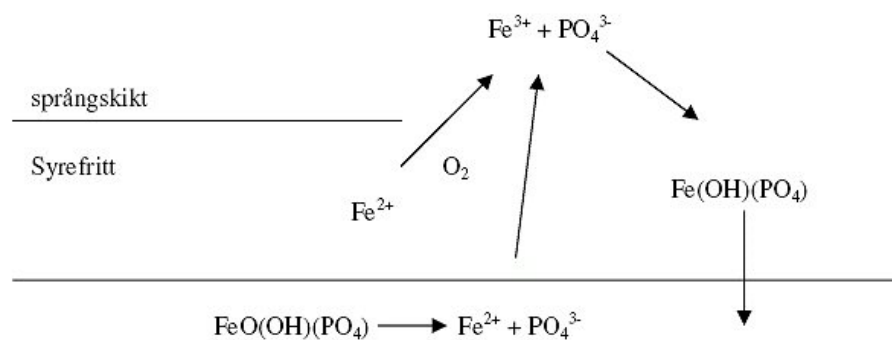
2.3.1 Allmänt

Sediment bildas av minerogena partiklar, organiskt material samt döda organismer som faller till sjöbotten. På botten frigörs fosfor från ytsedimentet till vattenmassan genom olika processer. I sedimentet är största delen av fosfor bunden till organiskt material som med tiden kommer att brytas ned, en process som leder till att syrgas förbrukas och att fosfat (PO_4^{3-}) frigörs. Fosfaten diffunderar sakta upp genom sedimentlagren och ut i den fria vattenmassan eller återförenas med sedimentet i andra kemiska bindningar. Fosfat förekommer vanligen i mycket låga halter och är den form av fosfor som är mest växttillgängligt.

2.3.2 Internbelastning

Bottensediment som frigör fosfater, så kallad internbelastning, kan utgöra en betydande fosforkälla för sjöar. Om det i en sjö lagrats fosfor under lång tid kan sedimenten under vissa betingelser, t ex vid syrgasbrist, börja läcka ut fosfater, vilket leder till en förhöjd fosforhalter i sjön. Detta kan vara en orsak till att fosforhalten i en sjö inte minskar trots att tillförseln av fosfor från t ex enskilda avlopp minskat. Hur lång fördröjning som uppstår på grund av denna internbelastning beror bland annat på hur mycket fosfor som finns lagrat samt hur mobilt (rörligt) det är.

Under förhållanden med god tillgång på syrgas bildar fosfatjonen (PO_4^{3-}) ett svårslösligt komplex med trevärt järn (Fe^{3+}) och sedimenterar (Figur 4). Vid syrgasfria förhållanden reduceras det trevärda järnet till tvåvärt järn (Fe^{2+}) och därmed diffunderar frigjort fosfat upp från sedimenten till vattnet i vad som kallas internbelastning. (Ahlgren m fl, 1999/2003).



Figur 4. Illustration av fosfatläckage från syrgasfria sediment (Ahlgren m fl, 1999/2003).

Vid internbelastning ökar koncentrationen av totalfosfor i vattnet då fosfaten som frigjorts binds in i organismer. Den ökande mängden fosfor kan leda till gynnsamma förhållanden för kvävefixerande cyanobakterier (s.k. giftalger) och bidra till algblooming.

Fosfor kan även frigöras i aerob, syresatt miljö. Då vattentemperaturen överstiger 18°C kan det aeroba läckaget bli lika stort som det anaeroba (syrefritt). (Kamp-Nielsen, 1975) Även resuspension genom vind-/vågpåverkan på sedimenten ökar den interna fosforbelastningen.

2.4 Vattenkemi

2.4.1 Fosfor

Fosfor är tillsammans med kväve näringsämnen som utgör viktiga byggstenar i allt levande. I sjöar, åar och alla andra sötvatten är det i regel fosfor som är den tillväxtbegränsande faktorn dvs. tillgången på fosfor begränsar produktionen. I för stora doser bidrar fosfor till övergödning av sjöar och vattendrag. Fosfor tillförs sjöarna och vattendragen från två källor. Dels är det fosfor som frigörs naturligt via vittring av mineral och dels är det fosfor som tillförts via mänsklig aktivitet. Den fosfor som kommer från mänsklig aktivitet kommer bland annat från industrier, jordbruk, reningsverk och enskilda avlopp.

Vid vattenkemiska undersökningar analyseras ofta vattnets halt av totalfosfor och fosfatfosfor. Totalfosfor utgörs av fosfat, partikelbunden fosfor. I de flesta sjöar är fosfor till större del bundet till partiklar. Av den partikelbundna fosfor i sjöar är huvuddelen organiskt bunden. Fosfat (PO_4^{3-}) frigörs vid nedbrytning av organsikt material och är den form av fosfor som är mest växttillgänglig.

2.4.2 Algblomning

Kraftiga algblomningar orsakas ofta av cyanobakterier som gynnas av en begränsad tillgång på kväve och god tillgång på fosfor. Under algblomning kan cyanobakterier binda in stora mängder kväve från luften. När de sedan dör och faller till botten frigörs kvävet till vattenmassan. Vissa cyanobakterierna kan producera algtoxiner som är giftiga för djur och människor, vilket är orsaken till att de kallas för giftalger.

2.5 Enskilda avlopp

Enskilda avlopp och läckage från jordbruksmark har på senare år lyfts fram som två av de största källorna till fosforutsläpp till ytvatten. Utsläpp av orenat eller dåligt renat avlopp medför risk för övergödning, smittspridning och syrebrist i sjöar och vattendrag. Om orenat avloppsvatten når en dricksvattenbrunn medför det hälsorisker och dricksvattentäkten kan förstöras. Kunskapen om hur stor andel av den totala belastningen de enskilda avloppen verkligen står för är begränsad och data från faktiska mätningar på hur mycket fosfor som släpps ut från anläggningar är bristfälliga (Naturvårdsverket, 2004).

Men enskilda avlopp menas avloppsanläggningar som behandlar hushållspillvatten från enstaka hushåll och från gemensamhetsanläggningar dimensionerade för upp till 25 personekvivalenter. De vanligaste förekommande reningsteknikerna (förutom slamavskiljning) är infiltrationsanläggning, markbädd och minireningsverk. Det finns olika sorters enskilda toalett- och avloppslösningar: WC-avlopp, BDT-avlopp, torrtoaletter, urinseparerande toaletter och andra mer eller mindre kretsloppsanpassade lösningar. Till enskilt avlopp är en vattentoalett vanligtvis ansluten. Avlopp utan vattentoalett, så kallat BDT-avlopp, består enbart av bad-, disk- och tvättvatten. Avloppsanläggningen måste byggas på rätt plats och på rätt sätt för att olägenheter för människors hälsa och miljön inte ska uppkomma. Mest näring finns i avloppsvattnet från toaletter. För utsläpp av avloppsvatten från toalett krävs tillstånd från Miljö- och hälsoskyddsmyndigheten. För att släppa ut BDT-vatten krävs inget tillstånd men anmälningsplikt råder. I Miljöbalken (SFS 1998:808) samt i förordningen (SFS 1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd finns regler om hur avloppsvatten ska renas.

Sedan 1969 finns lagkrav på att fastigheter med enskilt avlopp ska ha längre gående rening än slamavskiljare. Det dröjde dock en bit in på 70-talet innan kommuner på allvar började praktisera lagen. Hus som byggts efter 70-talets mitt har därför oftast längre gående rening än slamavskiljare. Många äldre hus har däremot fortfarande bristfällig avloppsrening. Det är svårt att säga exakt hur många bristfälliga enskilda avloppsanläggningar som finns. Hur mycket näringsämnen som kommer från enskilda avloppsanläggningar är också svårt att beräkna då olika typer av anläggningar renar olika effektivt samt kvalitet och nyttjandegrad har stor betydelse. Många befintliga anläggningar börjar dessutom bli gamla vilket medför att reningskapaciteten försämrats betydligt. De vanligaste förekommande reningsteknikerna (förutom slamavskiljning) är infiltrationsanläggning, markbädd och minireningsverk.

2.6 Källfördelning

Med hjälp av källfördelningsmodeller kan transport och fördelning av kväve och fosfor med olika ursprung, t ex olika typer av markanvändning och annan mänsklig påverkan, kartläggas och särskiljas från "naturliga" flöden. Källfördelningsmodeller används också för att med olika scenarier förutsäga vad olika åtgärder i avrinningsområdet kan tänkas medföra med avseende på belastning och vattenkvalitet. Källfördelningsmodeller är utmärkta verktyg för kvantifiering av påverkan på ytvatten från förekommande punktkällor och diffusa källor i ett avrinningsområde.

3. Material och Metod

3.1 Sedimentprover

Sedimentprover togs den 31 november 2006. Proverna togs med Willnerhämtare. Totalt togs tre stycken sedimentproppar, två i Trehörningen och en i Ramsen (Figur 5). Proverna togs i de djupaste delarna där det antas vara ackumulationsbotten.

Från varje sedimentpropp togs 6 stycken centimeterskikt från djupen: 0-1, 2-3, 4-5, 6-7, 14-15 samt 24-25 cm. I Ramsen togs det understa centimeterskiktet på 21-22 cm. Proverna förvarades i kyl under natten innan de skickades till Erkenlaboratoriet för analys.

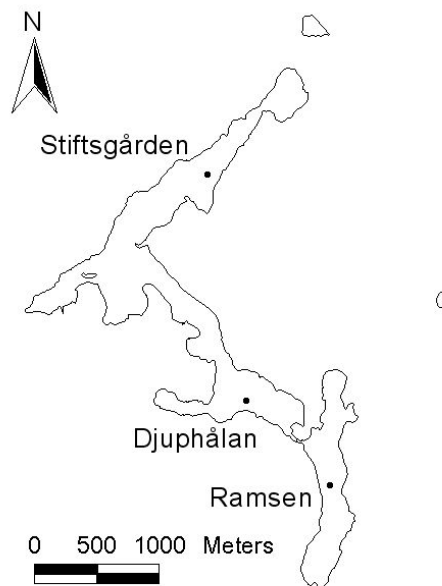
På Erkenlaboratoriet (SWEDAC ackrediterat) analyserades vattenhalt (%), glödgningsförlust (%) och totalfosfor ($\mu\text{g/g TS}$). Vidare extraherades med fosforfraktionering 5 olika fosforformer som benämns efter extraktionskemikalie: $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ (löst bunden fosfor), BD-P (järnbunden fosfor), NaOH-P (aluminiumbunden fosfor), HCl-P (kalciumbunden fosfor), och NaOH org-P (organiskt bunden fosfor). Rest-P (residualfosfor) består huvudsakligen av inerta organiska fosforformer och beräknas genom att subtrahera de extraherade fosforfraktionerna från sedimentens totala innehåll av fosfor (TP) (Rydin, 2005).

Vid kemisk analys av fosforinnehåll i sediment delas vanligen fosfor i två grupper: mobilt och inert fosfor. Mobilt fosfor, den mängd fosfor som med tiden kan frigöras och bidra till internbelastning, utgörs av löst bunden, järnbunden samt organiskt bunden fosfor. Inert fosfor antas vara orörlig och stannar således kvar i sedimenten. Detta gör att de ofta återfinns i konstanta koncentrationer genom hela sedimentprofilen. Inert fosfor utgörs av aluminiumbunden och kalciumbunden fosfor. Via vattenhalt och glödgningsförlust beräknades densiteten efter Håkanson & Jansson (1983).

För de centimeterskikt som inte analyserats interpolerades värden.

Mobilt fosfor i sedimenten beräknas enligt följande:

För varje centimeterskikt subtraheras uppskattad bakgrundshalt från den uppmätta halten, detta görs för samtliga mobila fosfor fraktionerna. Med bakgrundshalt menas den del mobilt fosfor som förblir kvar i sedimenten (bakgrundshalten återfinns i en bit ner i sedimentskiktet). Därefter beräknas fosforhalten via densitet om från " $\mu\text{g/g TS}$ " till " g/m^2 ". Därefter summeras värdena för varje centimeterskikt så att en koncentration fås för hela sedimentprofilen. Den totala mängden mobilt fosfor som finns i hela sjön beräknades genom att multiplicera koncentrationen mobilt fosfor i varje sjö (g/m^2) med arealen ackumulationsbotten. Uppskattad andelen ackumulationsbotten i Trehörningen är ca 80 % av totala sjöarean och i Ramsen ca 90 % (Emil Rydin och Anders Broberg, muntl).



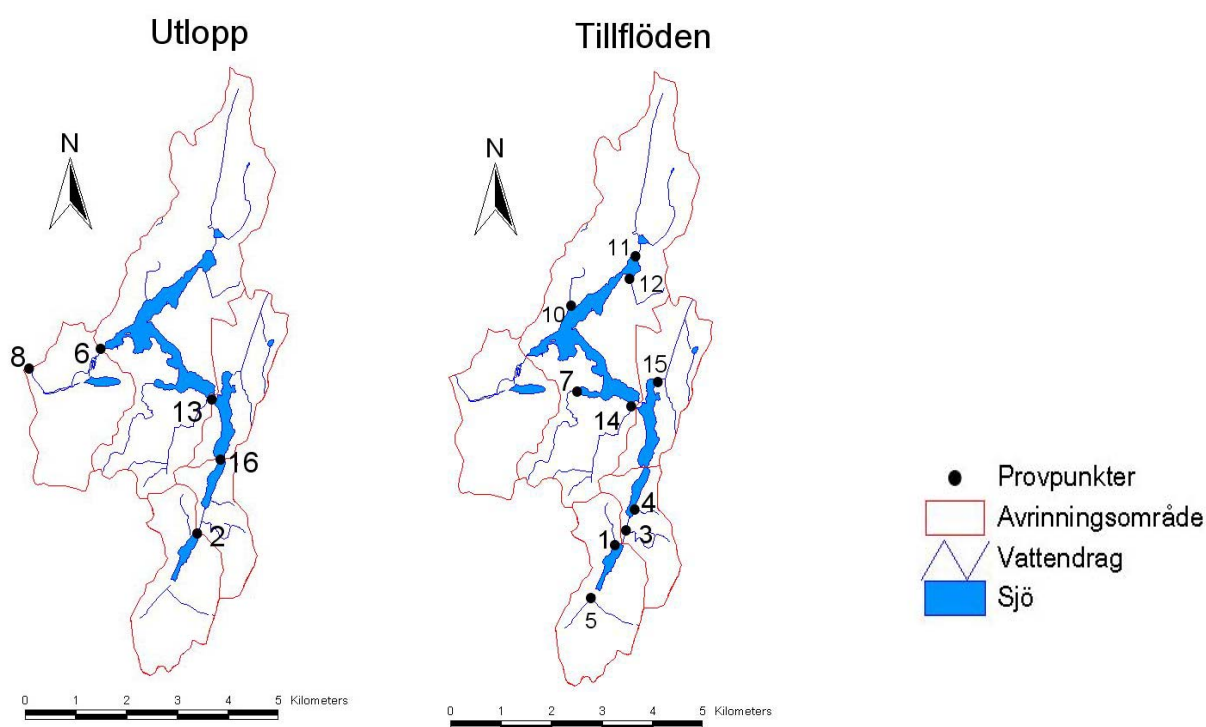
Figur 5. Provtagningspunkter för sedimentproppar och vattenkemi 31 november, 2006. Sedimentpropparna togs i de djupaste delarna av sjöarna. I Trehörningen togs två prov, ett vid Stiftsgården och ett i djuphålan. I Ramsen togs ett prov.

3.2 Vattenkemiprov

Den 11 oktober och 31 november 2006 togs vattenprov på samma lokaler som sedimentpropparna (se Figur 5). Vid dessa tillfällen mättes även siktdjup, syrgashalt och temperatur. Vattenprov togs med en Ruttnerhämtare, dels i ytan (0,5 m) och dels vid botten (0,5 m över botten).

Vattenkemiprover togs även 24 januari 2007, vid detta tillfälle togs de vid utloppen till varje delavrinningsområde samt i de tillflöden som gick att lokalisera på terrängkartan (Figur 6). Vid provtagningstillfället var det ca 5-10 minusgrader och höga vattenflöden och vattenstånd till följd av en mild och regnig höst/vinter. Dagarna innan provtagningen hade det snöat någon decimeter och det hade varit minusgrader i ett par dagar. Detta medförde att många vattendrag och sjöar var isbelagda och fick hackas eller borras upp.

Varje prov analyserades med hänseende på alkalinitet, totalfosfor, fosfatfosfor, totalkväve, ammoniumkväve samt nitrat- och nitritkväve. Samtliga vattenkemiprover analyserades på Kommunens Vattenlaboratorium (SWEDAC ackrediterat).



Figur 6. Provpunkter med stationsnummer för vattenkemi den 24 januari, 2007.

3.3 Enskilda avlopp

För att få en bättre bild över avloppssituationen i det studerade området har uppgifter från tre kommunala register samkörts. Från Stadsbyggnadskontorets fastighetsregister inhämtades uppgifter om antalet fastigheter, vatten- och avloppsanvändning samt information om permanent- respektive fritidsboende. VA- och avfallskontoret jämförde dessa uppgifter med kontorets register över abonnemang på slamtömning inklusive tömningsfrekvens samt om

abonnemanget avser slamavskiljare eller sluten tank. Miljökontoret kontrollerade vilka fastigheter som har tillstånd till avloppsanläggning samt dess anläggningstyp. En del fastigheter tillhör Knivsta kommun och från tekniska kontoret i Knivsta har data på slamtömning erhållits.

Metod

Information om de enskilda avloppen levererades som Excel-filer och GIS-skikt (Geografiskt Informationssystem). Dessa har sedan bearbetats och med hjälp av GIS kopplats ihop till en gemensam tabell. De kommunala registren har kopplats till fastigheter via fastighetsnummer eller fastighetsnamn. Informationen om varje fastighet har lagts på en och samma rad för att information inte ska förloras då den kopplas ihop i GIS. Tabellen har sedan exporterats till Excel där sökning och utvärdering har gjorts beträffande olika typer av anläggningar.

Fastigheter

Fastigheter med byggnader har plockats ut i GIS. Därefter har fastigheterna delats upp på respektive delavrinningsområde (totalt fem stycken).

Antal hus per fastighet

Antalet abonnemang på slamtömning antas representera antal bebodda hus.

Boende

Från fastighetsregistret kan utläsas uppgifter om fastighetens användning och utifrån dessa har antaganden gjorts om permanent- och fritidsboende (Tabell 2). I genomsnitt antas det bo 2,5 personer per hushåll och fritidshus antas vara bebodda 2 månader per år.

Tabell 2. Antaganden utifrån uppgifter i fastighetsregistret.

Uppgifter från fastighetsregistret	Antagande
Bebyggd lantbruksenhet	Permanentboende
Småhusenhet. tomtmark till helårsbostad	Permanentboende
Småhusenhet. helårsbostad 1-2 familjer	Permanentboende
Småhusenhet. tomtmark med byggnad. byggnadsvärde <50 tkr	Fritidsboende
Småhusenhet. fritidsbostad 1-2 familjer	Fritidsboende
Lantbruksenhet. tomtmark med byggnad. byggnadsvärde <50 tkr	Fritidsboende
Småhusenhet. skattefri enligt 3 kap. 4 § FTL	Fritidsboende
Hyreshusenhet. Huvudsakligen lokaler	Fritidsboende
Specialenhet, bad-, sport- och idrottsanläggning	Fritidsboende
Specialenhet. kulturbyggnad	Fritidsboende
Specialenhet. ecklesiastikbyggnad	Fritidsboende

Vatten och avloppsanvändning

I fastighetsregistret finns uppgifter om vatten och avloppsanvändning och utifrån dessa har antaganden gjorts om tillgång till WC- och BDT-vatten (Tabell 3).

Tabell 3. Antaganden utifrån uppgifter från Fastighetsregistret.

Uppgifter från fastighetsregistret	Antaganden
Vatten året om/enskilt avlopp	BDT- samt WC-avlopp 12 månader
Vatten sommartid/enskilt avlopp	BDT- samt WC-avlopp 2 månader
Vatten saknas/enskilt avlopp	BDT- samt WC-avlopp 2 månader
Vatten året om/avlopp saknas	BDT -avlopp 12 månader
Vatten sommartid/avlopp saknas	BDT -avlopp 2 månader
Vatten och avlopp saknas	Torrpass och bortförsl

Fördelning av reningstekniker och dess rening

Information om reningsteknik för enskilda avlopp finns i Miljökontorets tillståndsregistret och utifrån reningsteknik sätts schablonvärden för reningsgrad (Tabell 4). Slamtömningsregistret och fastighetsregistret används för att fylla luckor i tillståndsregistret.

Tabell 4. Reningstekniker och deras förmåga att reducera fosfor respektive kväve.

Reningsteknik	Reduktion av totalfosfor (%)	Reduktion av totalkväve (%)	Källa
Infiltration	88	76	Liss, 2003
Markbädd	65	44	Liss, 2003
Minireningsverk	90	50	Naturvårdsverket, www
Enbart slamavskiljare	10	10	Liss, 2003
Sluten tank	100	100	Johansson & Kvarnäs, 1998
Resorption	15	15	Johansson & Kvarnäs, 1998

Schablonvärden för produktion av kväve och fosfor

För att beräkna belastningen från enskilda avlopp behövs information om hur anläggningen belastas, här används mängd tillförd fosfor och kväve per person och dygn (Tabell 5). WC-fraktionen ska multipliceras med 0,7 då 70 % av toalettbesök antas ske i hemmet, resterande 30 % antas ske utanför hemmet på skola, arbete mm. Däremot antas all bad, disk och tvätt (BDT) ske i hemmet.

Tabell 5. Näringsmängder från hushåll i gram/person och dygn (Naturvårdsverket, 2006).

	WC		BDT
	Urin (g/per*dygn)	Fekalier (g/per*dygn)	(g/per*dygn)
Fosfor	1,0	0,5	0,5 (0,15-0,6)*
Kväve	11	1,5	1,4

*Fosforinnehållet i BDT-vatten varierar beroende på om fosfatfria tvättmedel används eller ej. Den lägsta nivån motsvarar om enbart fosfatfria hushållskemikalier används.

Utvärdering

Informationen från de tre kommunala registren kopplades till fastigheter i GIS. Därefter exporterades tabellen till Excel för bearbetning och utvärdering. Först sorterades de fastigheter ut där informationen i alla tre kommunala register stämmer överens. Därefter bearbetades resterande fastigheter där information saknas eller där informationen var motstridig. Bearbetningen skedde efter följande antaganden:

Fastighet med tillstånd till enskild avloppsanläggning

- Antas ha vatten och avlopp
- Antas ha slamtömning

Fastighet med abonnemang på slamhämtning

- Antas ha slamavskiljare eller sluten tank
- Antas ha vatten och avlopp

Fastighet med vatten och avlopp, men ingen annan information finns

- Antas ingen rening

Fastighet med varken vatten eller avlopp

- Antas ha torrdass

3.4 Källfördelning

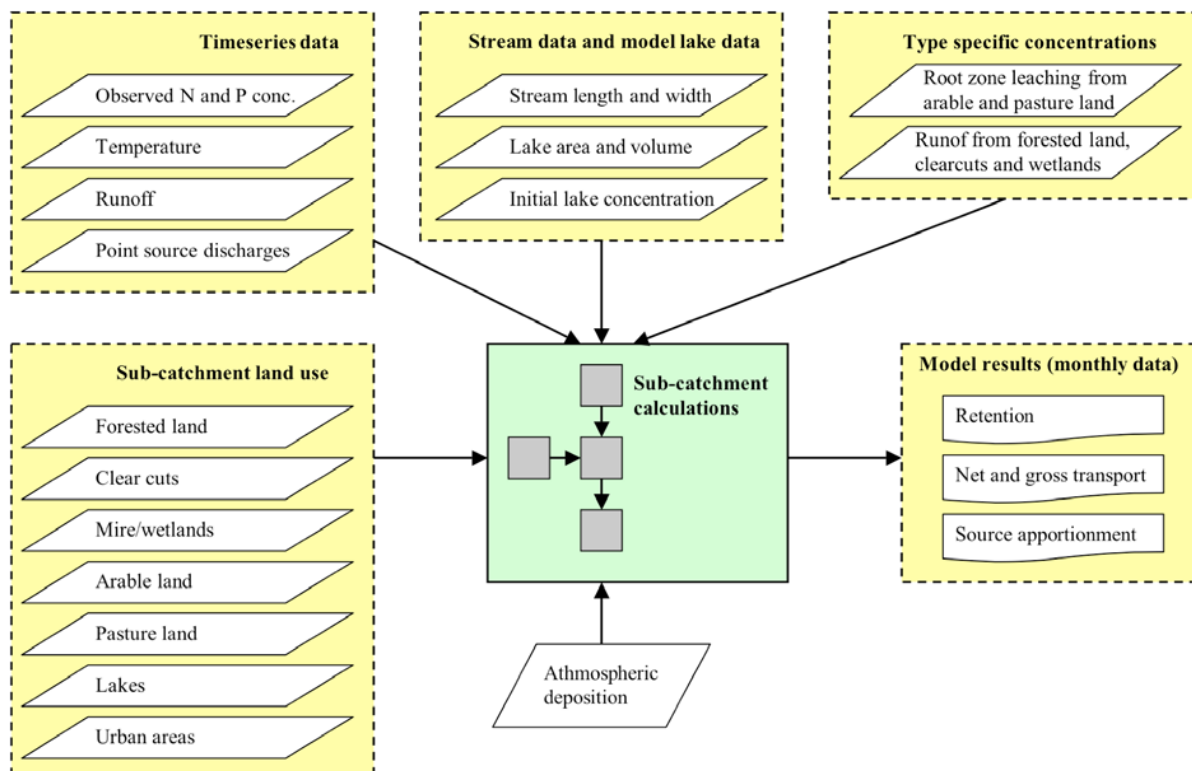
Källfördelningen har beräknats med hjälp av Fyrismodellen. Modellen utvecklades ursprungligen av Hans Kvarnäs på institutionen för Miljöanalys vid SLU för beräkning av kväve- och fosfortransporter i Fyrisåns avrinningsområde (Kvarnäs, 1996). Modellen har sedan vidareutvecklats i samband med tillämpningar på avrinningsområden där Göta älv (Sonesten m.fl., 2004) är den mest storskaliga tillämpningen.

I detta examensarbete modellerades hela Sävjaån i brist på kalibreringspunkt närmare Trehörningens delavrinningsområde. För att kalibrera modellen användes mätdata från Kuggebro (nära Sävjaåns utlopp till Fyrisån). Även om hela Sävjaån simulerades så utvärderades enbart resultaten för det studerade området. I denna studie har mer detaljerad indata tagits fram för det studerade området dels genom att dela Trehörningens delavrinningsområden i fyra, ett delavrinningsområde för varje sjö och dels har det studerade området fått noggrannare data för enskilda avlopp.

Modellbeskrivning

Fyrismodellen beräknar källfördelad brutto- och nettotransport av kväve och fosfor i sjöar och vattendrag. Tidssteget i modellen är en månad och den rumsliga upplösningen är på delavrinningsnivå (Hansson m.fl., 2006). Det principiella beräkningsförförandet är att uttransporten från ett delavrinningsområde är summan av all tillförsel från uppströms belägna avrinningsområden plus intern tillförsel inom avrinningsområdet minus retentionen. Retentionen, dvs. förlust av näring i sjöar och vattendrag genom sedimentation, upptag av växter och denitrifikation, beräknas som funktion av vattentemperatur, näringskoncentrationer, vattenflöde, samt sjö- och vattendragarea. Retentionen beräknas lika för samtliga källor i modellen. Modellen kalibreras mot tidsserier för uppmätta kväve och fosforkoncentrationer genom att anpassa två parametrar k_v och c_0 . k_v står för retentionshastigheten i vattendragen och sjöarna, c_0 är en parameter som reglerar retentionens temperaturberoende.

Data som används för kalibrering av modellen kan delas in i tidsberoende data (Hansson m.fl. 2006) t ex tidsserier på uppmätta koncentrationer för kväve och fosfor, vattentemperatur, avrinning och utsläpp från punktkällor (se Figur 7), samt tidsberoende data t ex information om markanvändning, sjö- och vattendragsareal.



Figur 7. Generell struktur över in- och utdata i Fyrismodellen (Hansson m.fl., 2006).

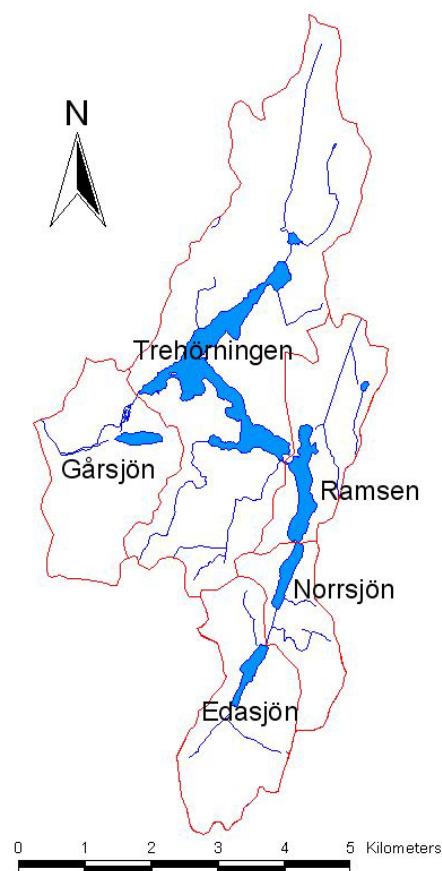
Avrinningsområden

Gårsjön och Trehörningen finns som delavrinningsområden i SMHIs databas SVAR (Svenskt Vatten Arkiv) från 2000. Trehörningens delavrinningsområde delades upp i fyra mindre avrinningsområden, ett för varje sjö (Figur 8). Detta gjordes först i pappersformat på en uppförstoring av gröna kartan. Därefter lades de nya delavrinningsområdena in som ett eget lager i GIS-programmet ArcView med hjälp av Gröna kartan och ett lager med höjdkurvor.

Markanvändning

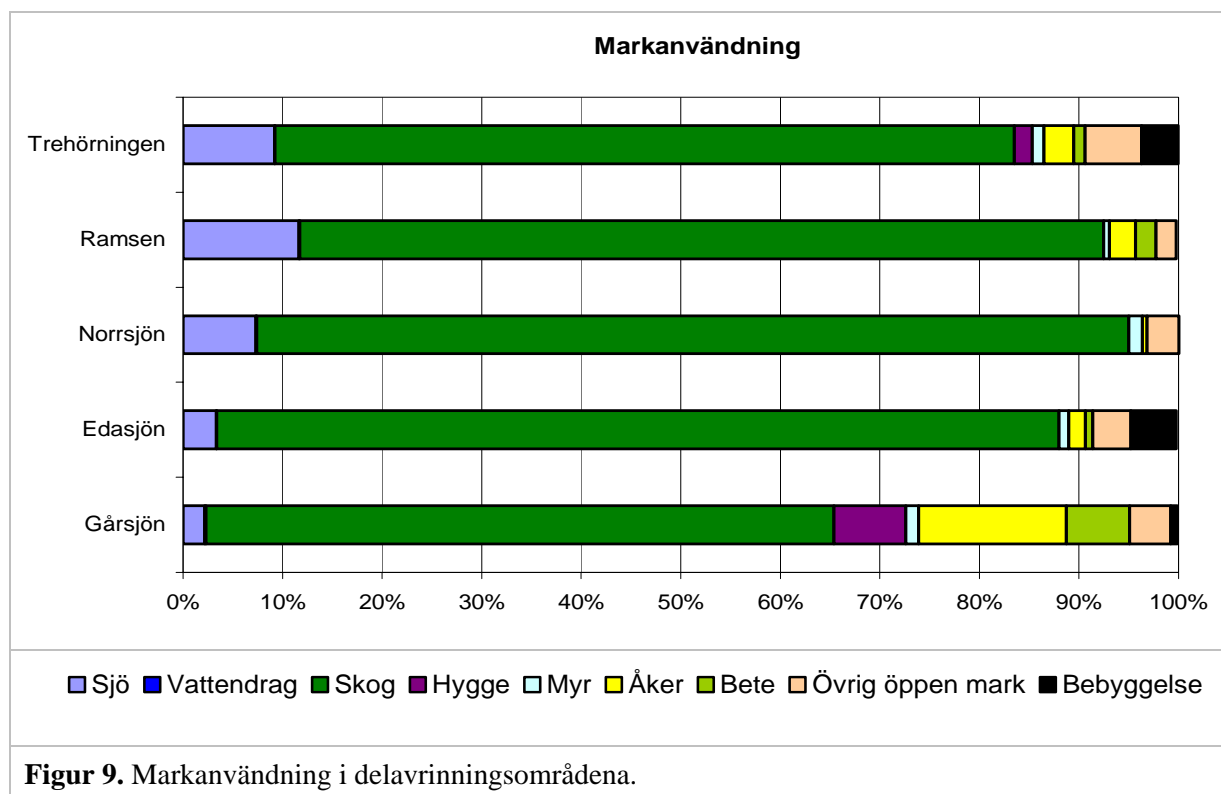
Med hjälp av GIS beräknades arealen för olika markanvändning i alla delavrinningsområden. Den procentuella fördelningen visas i Figur 9. Till största delen användes information från Lantmäteriverkets GSD terräng- och vägkarta drn 507-98-4720 från 1998 men även information från skogsstyrelsens och jordbruksverkets databaser Kotten respektive IAKS användes.

Arealen för sjö, myr och bebyggda områden kommer från GSD terrängkartan. Hyggen definieras i Fyrismodellen som mark som avverkat inom en femårsperiod. Data över avverkningsår och areal har erhållits från Skogsstyrelsens databas "Kotten" från 2001-2005. Arealen skog har tagits från GSD terrängkarta men detta ger dock inte en korrekt bild, eftersom de hyggen som finns på gröna kartan ofta är äldre än fem år. En stor del av gröna kartans hyggen har därför i Fyrismodellen räknats som



Figur 8. Avrinningsområden

skog. Arealen åker och betesmark har dels erhållits från jordbruksverkets blockdata från 2005 och dels från databasen för EU-stödsansökningar (IAKS, 2005). Genom blockdata erhålls information om åkrars placering och storlek. Kopplas denna information till IAKS erhålls uppgifter om betesmark, åkermark samt gröda. Posten övrig öppen mark har erhållits från GSD terrängkarta men vissa områden överlappas av jordbrukverkets data på åker och betesmark. Den överlappande arealen har antagits höra till åker- och betesmark och räknas bort från posten övrig öppen mark.



Vattendrag

Information om *vattendrag* har tagits ur GSD vägkartan. Längden på vattendragen har beräknats i GIS. För att kunna beräkna arean på vattendragen har bredden uppskattas till ca 0,5 m i alla delavrinningsområden utom Gårsjön som har bredare vattendrag (ca 1,5 m).

Sjömodul

I delavrinningsområden med sjöar (omsättningstid $\gg 1$ månad) kan en sjömodul läggas in i Fyrismodellen för att mer naturtroget dämpa effekten av förändrad belastning. Sjömodulen förutsätter att sjön ligger längst ned i avrinningsområdet. Desto längre omsättningstid desto längre tid tar det innan effekten av en förändring fått genomslag dvs. innan nytt jämviktsläge nåtts. Ju längre omsättningstid för vattnet i sjön desto högre blir retentionen. Den initiala fosforkoncentrationen i sjöarnas utlopp har fastställts genom medianvärde från ett flertal provtagningar (Tabell 6).

Tabell 6. Indata till sjömodulen.

	Sjöarea (km ²)	Medeldjup (m)	Volym (Milj m ³)	Initial konc. sjö (mg Tot-P/l)
Edasjön	0.140	3	0.48	0.0305
Norrsjön	0.160	2	0.34	0.025
Ramsen	0.400	6.4	2.5	0.028
Trehörningen	1.320	3.2	4.7	0.022

Typhalter

För att beräkna läckage från olika markanvändningar har typhalter använts. I huvudsak har typhalter från TRK-projektet använts (Brant & Ejhed, 2002). Typhalter för jordbruks- och betesmark (Bilaga 2) har tagits fram med modellerna SOILNDB och ICECREAM. Typhalter för skog, hygge, våtmarker, övrig öppen mark och bebyggelse redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Typhalter för beräkning av markläckage av fosfor.

Markanvändning	Typhalt P (mg/l)	Källa P
Skog	0.034	Kyllmar, 1995
Hygge	0.034	Antag samma som skog
Myr	0.018	Brant & Ejhed, 2002
Bebyggelse	0.034	Antag samma som öppen mark
Berg	0.007	Brant & Ejhed, 2002
Öppen mark	0.034	Antag samma som skog

Tidsserier

Vid modellsimuleringarna har tidsserier för perioden 1995 till 2005 använts. I modellen har mätdata för vattenkemi, vattenflöden och temperatur tagits från mätstationen Kuggebro (Figur 10). Dessa data har hämtats från en databank som Institutionen för Miljöanalys administrerar (www.ma.slu.se).

Större punktkällor

Större punktsläpp till Sävjaområdet härrör från fyra mindre reningsverk (se Figur 10). För dessa finns data på månadsutsläpp för perioden 1995 till 2004. För att få en fullständig tisserie har utsläppen för 2005 antagits vara lika som för 2004.

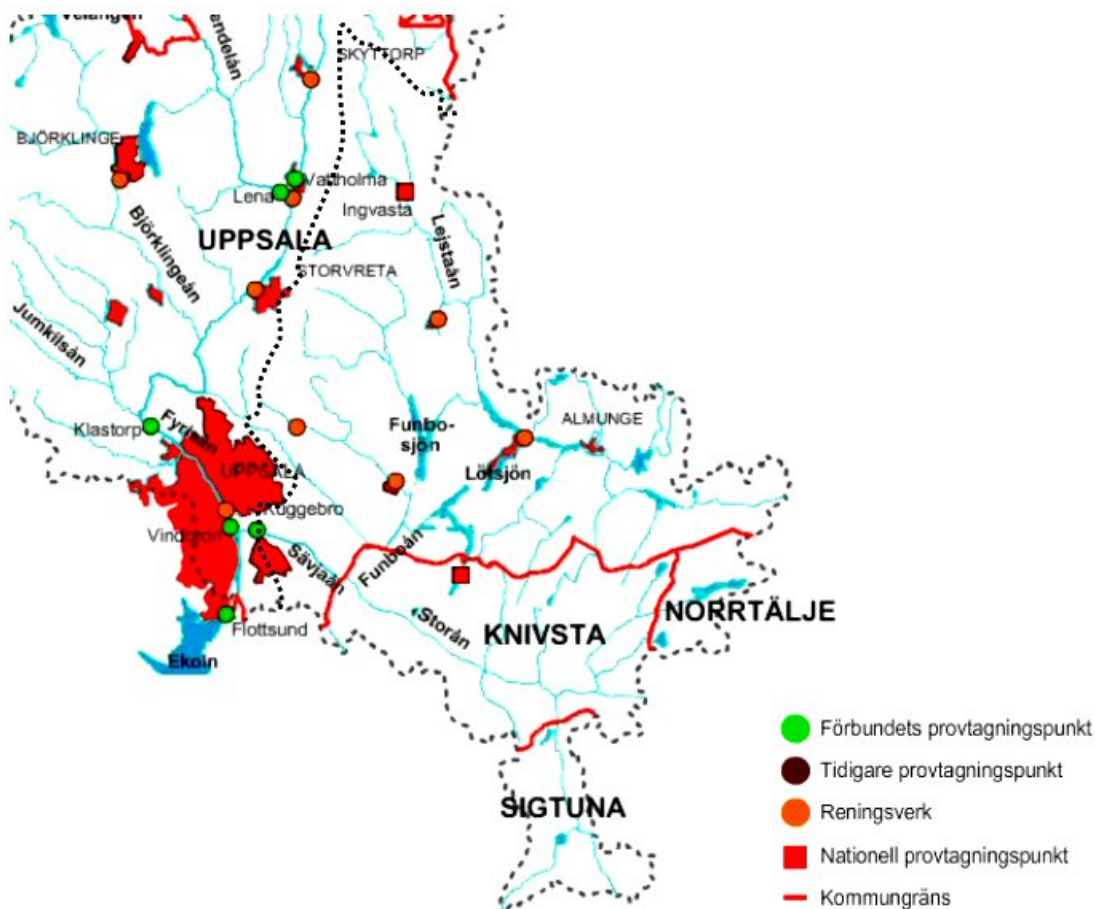
Mindre punktkällor

Mindre punktkällor utgörs av utsläpp från enskilda avlopp. Utsläppen redovisas som kilo läckage per månad. För Gårnsjöns och Trehörningens delavrinningsområden har bättre information om enskilda avlopp lagts in (se avsnitt 5.3 Enskilda avlopp). För övriga delavrinningsområden bygger informationen om fördelningen av olika reningstekniker för enskilda avlopp på de riktlinjer som Naturvårdsverket tagit fram för Uppsala län i rapporten *Kunskapsläget om enskilda avlopp i Sveriges kommuner 2004* (Naturvårdsverket, 2004). Rapporten bygger på en enkätstudie där uppgifter om enskilda avlopp samlats in från landets kommuner.

Internbelastning

Internbelastning av fosfor i sjöarna har grovt kvantifierats på tre olika sätt:

- Sjöretentionen i Fyrismodellen minskas så att den modellerade fosforhalten i sjön är lika stor som den uppmätta. Genom att beräkna skillnaden i mängd fosfor som sedimenterar fås ett grovt mått på nettointernbelastningen.
- Internbelastningen läggs till som en mindre punktkälla i Fyrismodellen och belastningen sätts till den nivå där modellerad och uppmätt halt överensstämmer.
- Skillnad i uppmätt och modellerad mängd fosfor ut ur sjöarna antas vara netto-internbelastning.



Figur 10. Beskuren karta över Sävjaån med biflöden. Kartan visar placering av reningsverk och mätstationer för vattenkemi (Fyrisåns vattenförbund, www).

3.5 Scenariomodellering

För att försöka ge underlag till beslut på hur kommunen ska hantera de enskilda avloppen i området har scenarier med olika utveckling för de enskilda avloppen simulerats i Fyrismodellen. Enskilda avlopp är den källa som bidrar med störst mängden antropogen (mänsklig) fosfor. För att få en fingervisning om hur utvecklingen för de enskilda avloppen kan påverka näringsnivån i sjöarna (om ca 50 år) har framtidsscenarier sats upp och modellerats i Fyrismodellen.

Framtidsscenarier:

- Fosforutsläpp från enskilda avlopp lika stort som idag
- Bara godkända anläggningar (alla fastigheter antas ha infiltrationsanläggning)
- Anslutning till kommunalt VA (vatten och avlopp)

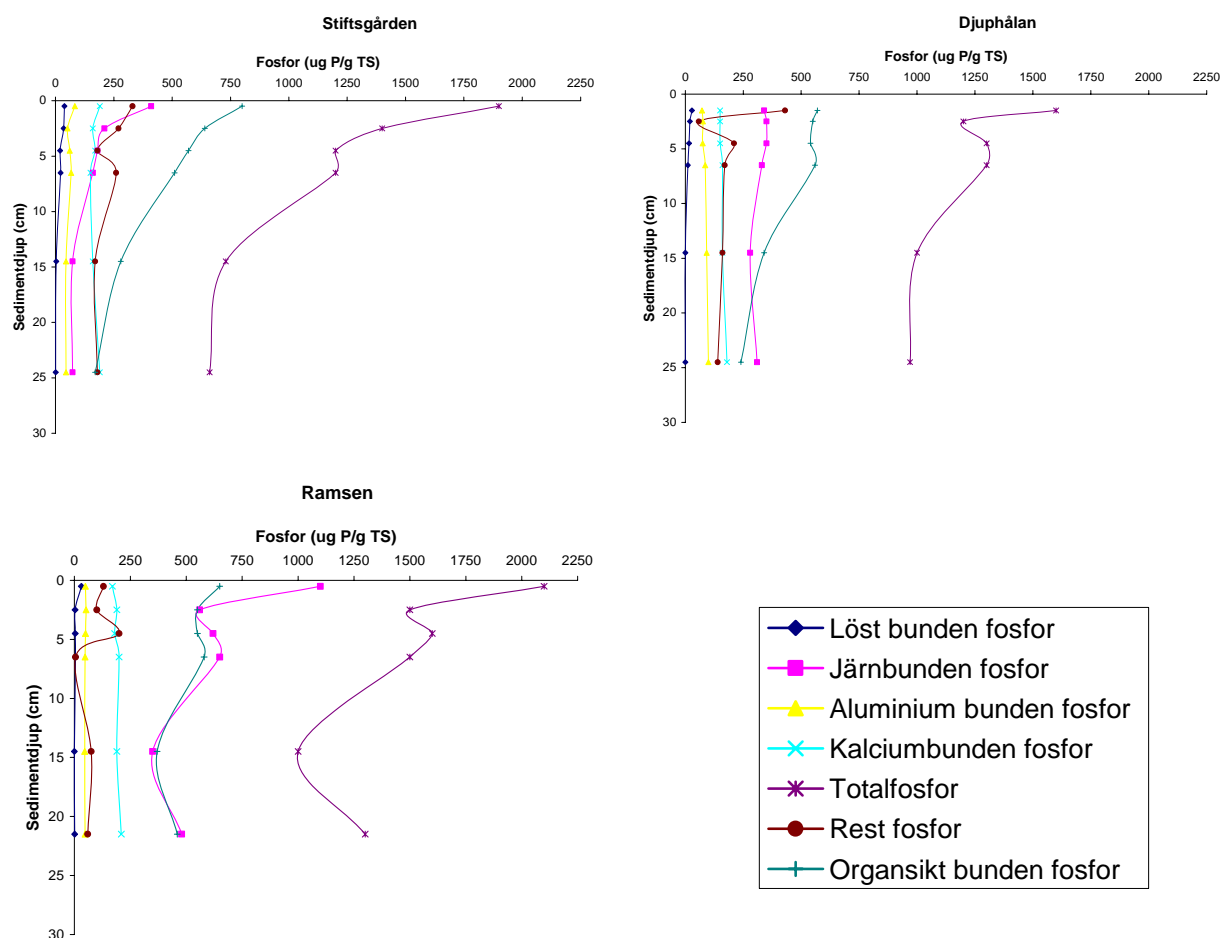
Samtliga framtidsscenarier har modellerats för:

- Permanent- och fritidsboende som idag, 150 respektive 221 fastigheter.
- Alla 371 fastigheter antas bebos permanent

4. Resultat och Diskussion

4.1 Sedimentprov

Ramsens sediment innehåller betydligt högre koncentrationer fosfor än Trehörningen (Figur 11), analysresultat återfinns i Bilaga 3. I Trehörningens båda sedimentproppar utgör organiskt bunden fosfor den dominerade fraktionen men i Ramsen är det den järnbundna fosfor som dominerar. Vanligtvis utgör organisk fosfor den dominerande fraktionen. Sedimentprofilen i djuphålan följer inte samma mönster som de övriga propparna, den markanta ökningen av fosforinnehållet i det översta sedimentlagret saknas. En förklaring till detta kan vara att djuphålan var den första proppen som togs och det är troligt att röret sjunkit för långt ner i sedimenten så de översta 1-2 centimetrarna av sedimenten missats.



FIGUR 11. Diagram över koncentrationen av olika fosforfraktioner i de tre sedimentprofilerna som togs den 31 november 2006. Stiftsgården och djuphålan är prover från Trehörningen.

Den höga vattenhalten och glödförlusten (Bilaga 3) bekräftar att proverna är tagna på ackumulationsbotten.

Den totala mängden mobilt fosfor i Trehörningen och Ramsen är nästan lika stor, 3,6 ton respektive 3,5 ton (Tabell 8), vilket beror på att Trehörningen har ungefär tre gånger så stor yta ackumulationsbotten. Ramsen har högre koncentration mobilt fosfor ($9,6 \text{ g/m}^2$, tabell 8) än i Trehörningen ($3,4 \text{ g/m}^2$). Anmärkningsvärt är också att Ramsen innehåller betydligt högre koncentration järnbunden fosfor. Vid beräkning av mängden mobilt fosfor har

bakgrundshalten (Bilaga 4) antagits vara likvärdig med halten från de djupare lagren i sedimentproppen.

Tabell 8. Total mängd fosfor och mobilt fosfor i sedimenten (ner till 25 cm djup) samt koncentration mobilt fosfor och mobila fosforfraktioner.

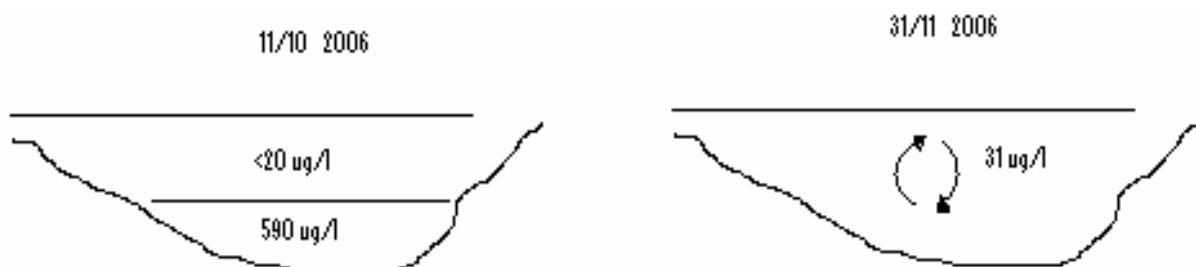
	Tot-P (ton P/25cm*djup)	Mobilt P (ton)	Mobilt P (g/m ²)	Organiskt P (g/m ²)	Järnbundet P (g/m ²)	Löst bunden P (g/m ²)
Trehörningen	27	3,6	3,4	2,6	0,7	0,14
Ramsen	37	3,5	9,6	4,0	5,5	0,11

Att det i Ramsen finns mycket järnbunden fosfor är den dominerande orsaken till att det vid syrefria förhållanden kan frigöras stora mängder fosfater (internbelastning). Risken för läckage av fosfor från sedimenten är störst under perioder med temperaturskiktning, då syrgasfria förhållanden kan uppstå i bottenvattnet. Senare under omblandningsperioden blandas det fosfatrika bottenvattnet med resten av vattenmassan. På så sätt kan fosfor som frigöras och transporteras vidare till Trehörningen antingen uppbundet i plankton eller som löst fosfat. En stor del av fosfaten kommer dock vid tillförsel av syrgasrikt vatten att åter bilda järnkomplex och sedimentera.

4.2 Vattenkemiprover

Vid provtagningstillfället den 11 oktober visade temperaturmätningar att vattenmassan i Trehörningen var helt omblandad (se bilaga 5 tabell 1 för analysresultat). Ramsen däremot var fortfarande skiktad. Under temperaturskiktningen, på sju meters djup, rådde syrgasfria förhållanden och bottenvattnet innehöll mycket hög totalfosforhalt (590 µg/l, figur 12, vänster) varav nästan hela koncentrationen bestod av fosfatfosfor (580 µg/l). Ramsens ytvatten innehöll däremot en mycket låg totalfosforhalt (< 20 µg/l) och fosfatfosforhalt (<10 µg/l). Trehörningens omblandade vatten höll en totalfosforhalt på 28-38 µg/l var av fosfatfosfor på <10 µg/l

Vid provtagningstillfället den 30 november visar temperaturmätningar att vattenmassorna i både Trehörningen och Ramsen var helt omblandade (se bilaga 5 tabell 1 för analysresultat), temperaturen uppmättes till ca fem grader och det var god syrgasmättnad i hela vattenmassan. Analysresultaten visade att totalfosforhalten i Trehörningen var 21-25 µg/l och i Ramsen något högre, 31 µg/l (se Figur 12, höger). Inga anmärkningsvärda fosforhalter noterades således vid detta mättillfälle.

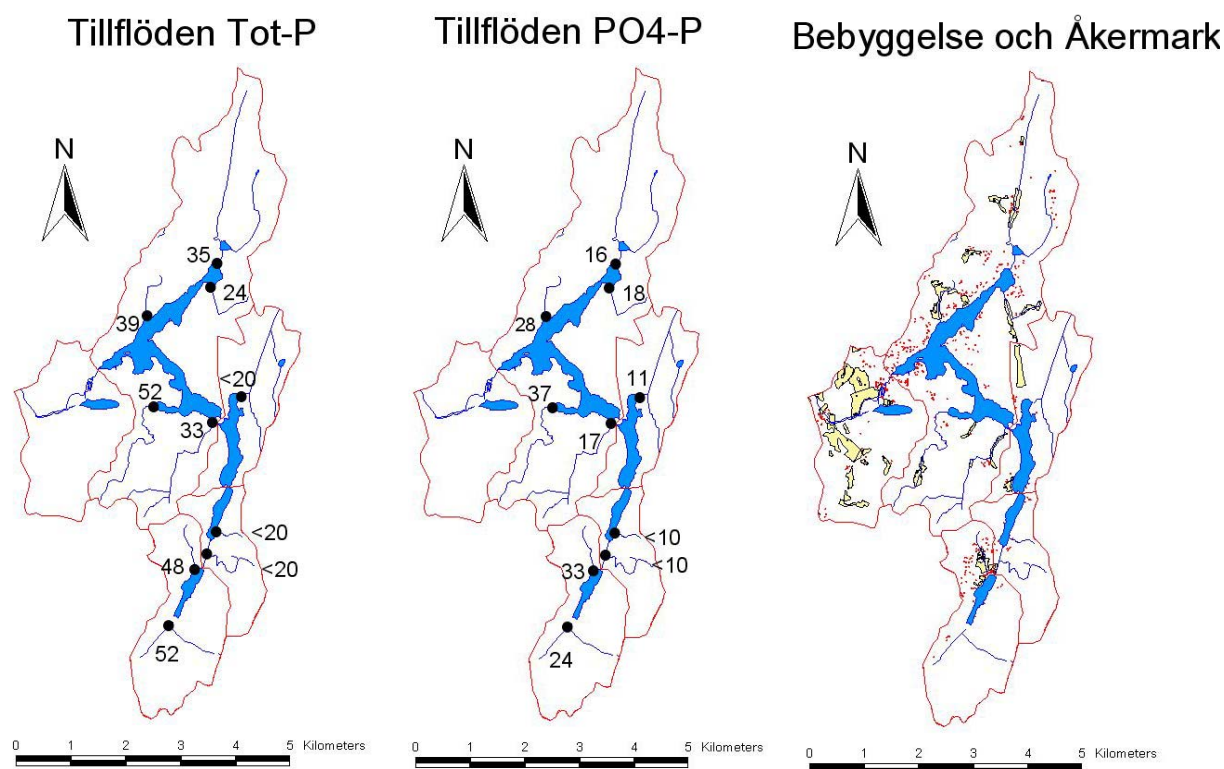


Figur 12. Djupprofil av Ramsen vid två mättillfällen (bilden är inte skalendig). I oktober (vänster figur) rådde temperaturskiktning och syrgasfria förhållanden under skiktningen, en och en halv månad senare (höger figur) var vattenmassan i sjön omblandad.

Vid provtagningstillfället den 24 januari hade det snöat och temperaturen i luften var mellan 5 och 10 minusgrader. Ditintills hade det varit en mild och regning vinter vilket medförde att det fortfarande var mycket höga vattenflöden i vattendragen och att vattenståndet i sjöarna var högt. Analysresultaten (Bilaga 5 Tabell 2) gav en uppfattning om varifrån näringsämnena kommer och hur koncentrationerna varierar mellan vattendragen.

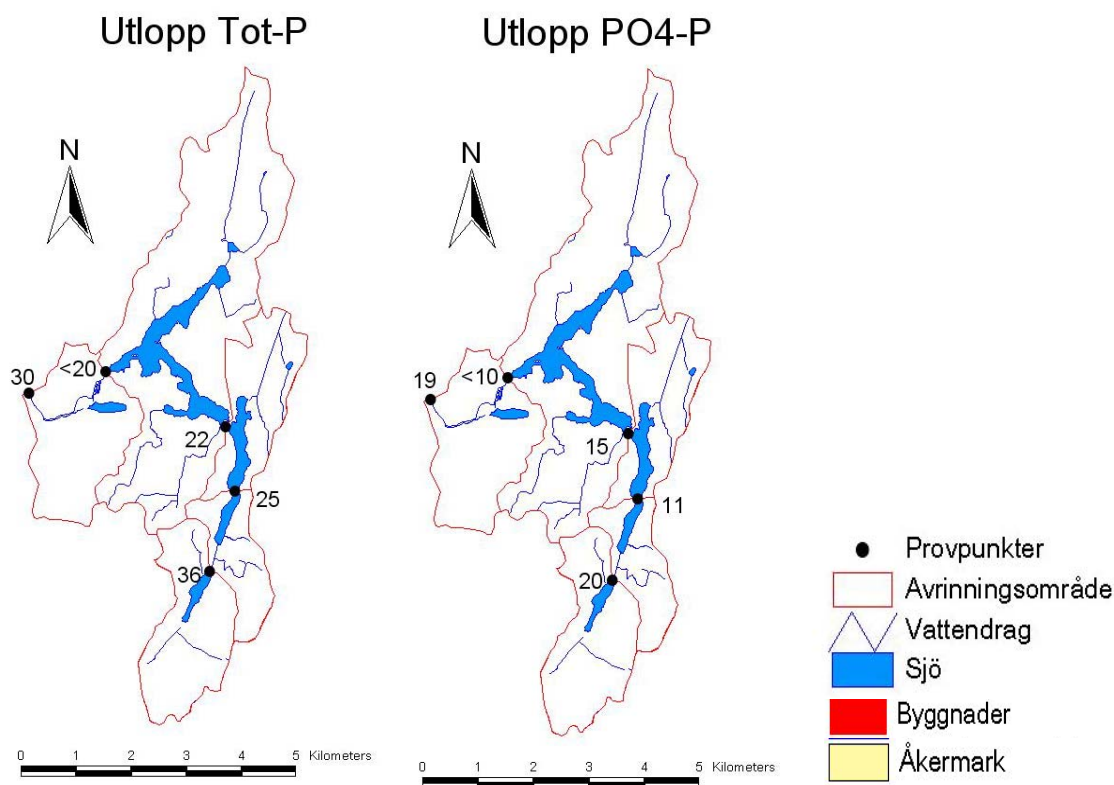
Generellt var det lägre fosforhalter (Figur 13a) i de vattendrag som enbart rinner genom skog jämfört med dem som rinner genom öppen mark (Figur 2). Hur låga halterna är i skogsbäckarna går inte att veta exakt då det analyserande laboratoriet har en detektionsgräns på 20 µg/l för totalfosfor och 10 µg/l för fosfatfosfor, dvs. halter som understiger dessa gränser kan inte mätas (anges som <20 µg/l respektive < 10 µg/l). Man kan ana en tendens till att koncentrationerna av både total- och fosfatfosfor från områden med bebyggelse är högre än från områden med bara skog. Det går dock inte avgöra om fosfor enbart kommer från enskilda avlopp eller från åkermark då de återfinns i samma områden.

Fosforhalten minskar mellan inlopp och utlopp vilket visar att det sker en retention av fosfor i sjöarna (Figur 13b). Däremot ökar fosforhalten mellan Trehörningens utlopp och utloppet till Funboån. Om detta beror på att de höga vattenflödena i vattendraget virvlar upp näring från botten eller om det är en tillförsel från enskilda avlopp eller åkermark framgår inte av denna studie.



© Copyright Uppsala kommun 2007
 © Lantmäteriverket 1998, Ur GSD
 Terränkkarta drn 507 98 4720

Figur 13a. Bilderna visar uppmätta fosforvärden i vattendragen. Till vänster visas totalfosfor och i mitten fosfatfosfor samt högra bilden visar områdets bebyggelse (röda punkter) och åkermark (gula områden).



Figur 13b. Bilderna visar mätningar i utloppen i avrinningsområdena, till vänster totalfosfor och till höger fosfatfosfor.

4.3 Enskilda avlopp

Data från register

Vid en jämförelse av den informationen som finns att tillgå via kommunens tillstånds-, fastighets- och slamtömningsregister visar att den endast stämmer överens för 30 % av fastigheterna. De resterande 70 % har motstridiga uppgifter eller så saknas information. Detta kan bero på följande:

- Information äldre än 1989 kan saknas i tillståndsregistret
- Det förekommer svartbyggen av enskilda avlopp
- Fastighetsägare har inte lämnat korrekta uppgifter vid fastighetstaxeringen
- Slamtömning utförs av annan än kommunen

Att uppgifter i kommunens register är motstridiga och i vissa fall ofullständiga leder till osäker information om de enskilda avloppen. I registren finns dels fastigheter som saknar tillstånd för reningsanläggning men de har tömning av slutna tank och/eller slamavskiljare. Dels finns fastigheter som har tillstånd för reningsanläggning men saknar kommunal tömning av slam. Trots att kommunen har monopol på slamhämtning kan dessa fastigheter ha ordnat tömning av slam på annat sätt. Det finns även fastigheter som uppges ha varken vatten eller avlopp men trots det har kommunal hämtning av slam.

Totalt finns 371 bebyggda fastigheter i hela området och av dessa har ca 70 % enskilt avlopp medan resterande 30 % saknar avlopp. I Trehörningens delavrinningsområde finns totalt 235 fastigheter varav 165 har enskilt avlopp medan resterande 70 saknar avlopp (Tabell 9). Av de 165 fastigheter med enskilt avlopp är 101 registrerade som permanentboende och 64 fritidsboende. Fastigheter som saknar avlopp har ofta någon form av torr toalettlösning t ex

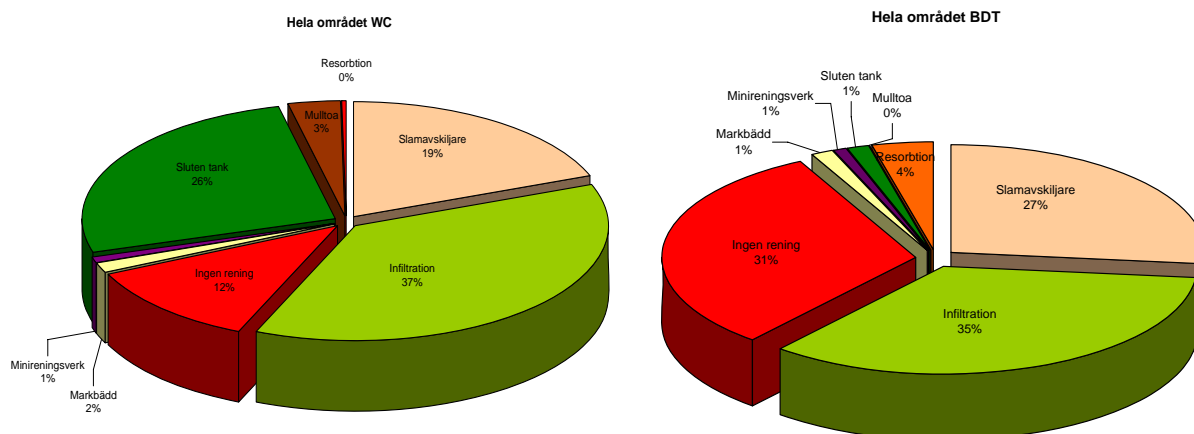
torrdass eller mulltoa men en del har dock tillgång till BDT-vatten och har därmed BDT-avlopp.

Tabell 9. Antal fastigheter med enskilda avlopp eller där avlopp saknas fördelade på permanent- och fritidsboende. Uppgifterna bygger på den bearbetning som gjorts av tillgänglig information om enskilda avlopp och redovisas dels för hela området och dels för Trehörningens delavrinningsområde.

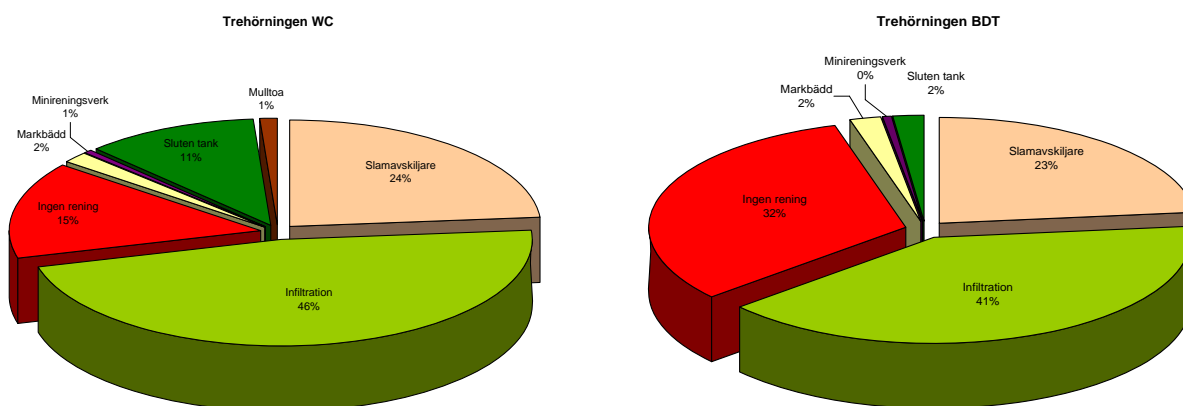
	Totalt		Permanentboende		Fritidsboende	
	Enskilt avlopp	Avlopp saknas	Enskilt avlopp	Avlopp saknas	Enskilt avlopp	Avlopp saknas
Hela området	256	115	140	10	116	105
Trehörningen	165	70	101	8	64	62

Reningsteknik

På grund av de osäkerheter som råder i de kommunala registren blir antaganden om reningsteknikernas antal och placering i området osäkra. Störst osäkerhet ligger i uppgiften om den procentuella fördelningen fastigheter med "slamavskiljare" eller "ingen rening" (Figur 14a-b). Infiltration är den vanligaste reningstekniken i området. Även slutna tank till WC-avlopp är vanlig. Andelen BDT-avlopp som saknar rening eller enbart har slamavskiljare är högre än för WC avlopp (Figur 14a-b).



Figur 14a. Reningstekniker för enskilt avlopp i hela området fördelat på WC- och BDT-avlopp. Totalt har 256 fastigheter rening av WC-avlopp och de släpper ut totalt 120 kg P/år, 334 fastigheter har rening av BDT-avlopp och de släpper ut totalt 25 kg P/år.



Figur 14b. Reningstekniker för enskilt avlopp i Trehörningens delavrinningsområde fördelat på WC och BDT. Totalt har 165 fastigheter rening av WC-avlopp och de släpper ut totalt 80 kg P/år, 206 fastigheter har rening av BDT-avlopp och de släpper totalt ut 10 kg P/år.

Utsläpp

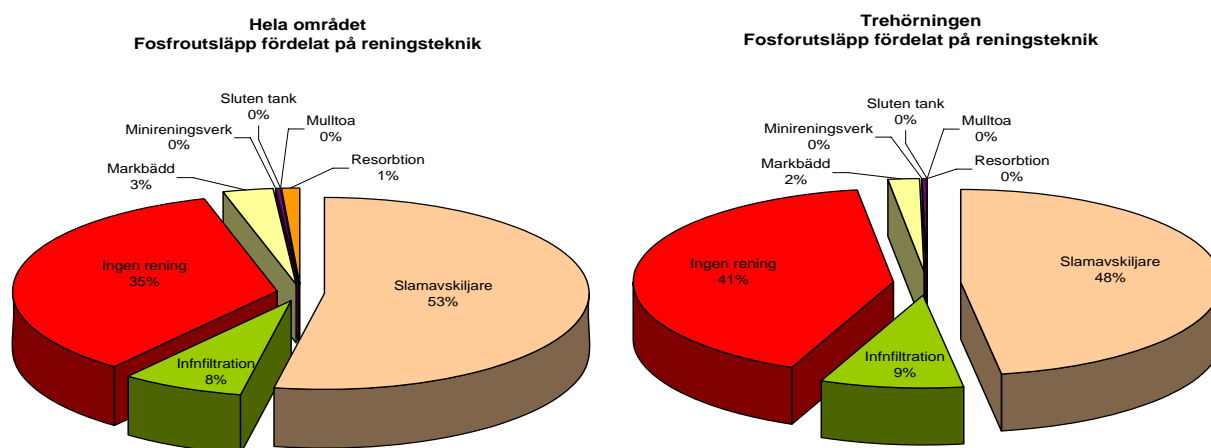
Den totala mängden fosfor som släpps ut från enskilda avlopp beräknas för hela området till 145 kg per år (Tabell 10) och för Trehörningen till 90 kg. I hela området var utsläpp av fosfor störst från WC-avlopp, ca 120 kg fosfor/år och utsläpp från BDT-avlopp var ungefär en femtedel, 25 kg fosfor/år. För Trehörningen visade motsvarande beräkning på ca 80 kg P/år från WC och 10 kg P/år från BDT. Stora variationer i schablonvärden på reningsgrad för olika reningstekniker medför stora osäkerheter gällande mängd fosfor som släpps ut.

Tabell 10. Fosforutsläpp från renat WC- och BDT-avlopp i kg per år för hela området och för Trehörningens delavrinningsområde.

Utsläpp av fosfor (kg P/år)			
	WC	BDT	Totalt
Hela området	120	25	145
Trehörningen	80	10	90

Många anläggningar i området bedöms vara gamla vilket medför sämre reningsgrad än de schablonvärden som använts, detta medför att de faktiska fosforutsläppen kan vara underskattade. Mängden fosfor som släpps ut från enskilda avlopp kan också vara mindre än vad som anges här. Miljökontoret i Uppsala har i några delar av kommunen gjort utskick till fastigheter där information om fullgod rening saknas, där har det visat sig att ca 50 % av fastigheterna ändå har godkända reningsanläggningar (Lindberg, pers). Det är både fastigheter där det finns kommunalt tillstånd för enskilt avlopp och fastigheter som saknar tillstånd. Ungefär 50 % av fastigheterna som bara har slamtömning eller som det inte finns några uppgifter om kan därför ändå ha någon form av reningsanläggning.

Fördelas fosforutsläpp på reningsteknik (Figur 15) kommer störst andel fosforutsläpp från enskilda avlopp med enbart slamavskiljare (ca 50 %) eller enskilda avlopp som helt saknar rening (35 % resp. 41 %). Infiltration, vilket är den vanligaste reningstekniken, står för mindre än 10 % av de totala fosforutsläppen. Övriga reningstekniker förekommer i ett litet antal och utsläppen från dessa blir således små.

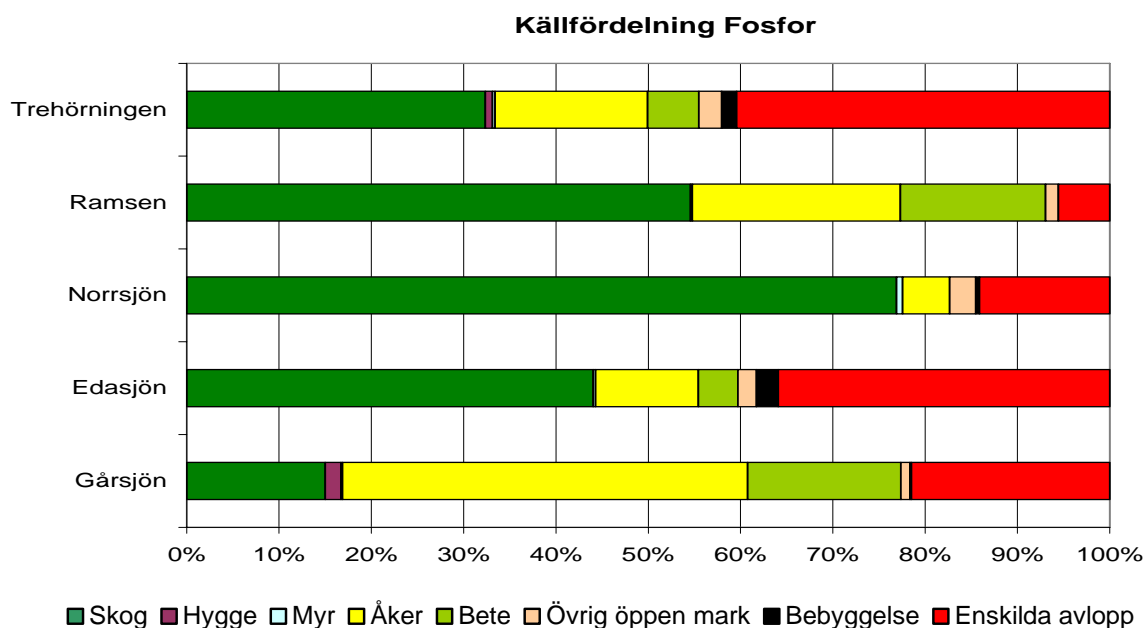


Figur 15. Procentuellt fosforutsläpp fördelat på reningsteknik inom hela området respektive för Trehörningens tillrinningsområde

4.4 Källfördelning

Resultat från källfördelningen visar att skogsmark står för en stor andel av fosforläckaget (Figur 16), vilket är att förvänta då skogsmark utgör ca 75 % av områdenas yta. Gårnsjöns delavrinningsområde har större andel åkermark vilket resulterar i ett större fosforläckage än för övriga delavrinningsområden. Tabell med fosforläckage i kilo per år finns redovisade i Bilaga 6.

Enskilda avlopp står för en stor andel av de totala fosforutsläppen (Figur 16). Ungefär två tredjedelar av bebyggelsen ligger vid Trehörningen och de bidrar med 40 % av delavrinningsområdets fosforbelastning. Vid Edasjön finns ca en tredjedel av bebyggelsen och det gör att också Edasjön har en stor andel utsläpp från enskilda avlopp (35 %). Fosfor från enskilda avlopp kan ses som ett ”onaturligt” tillskott av näring.

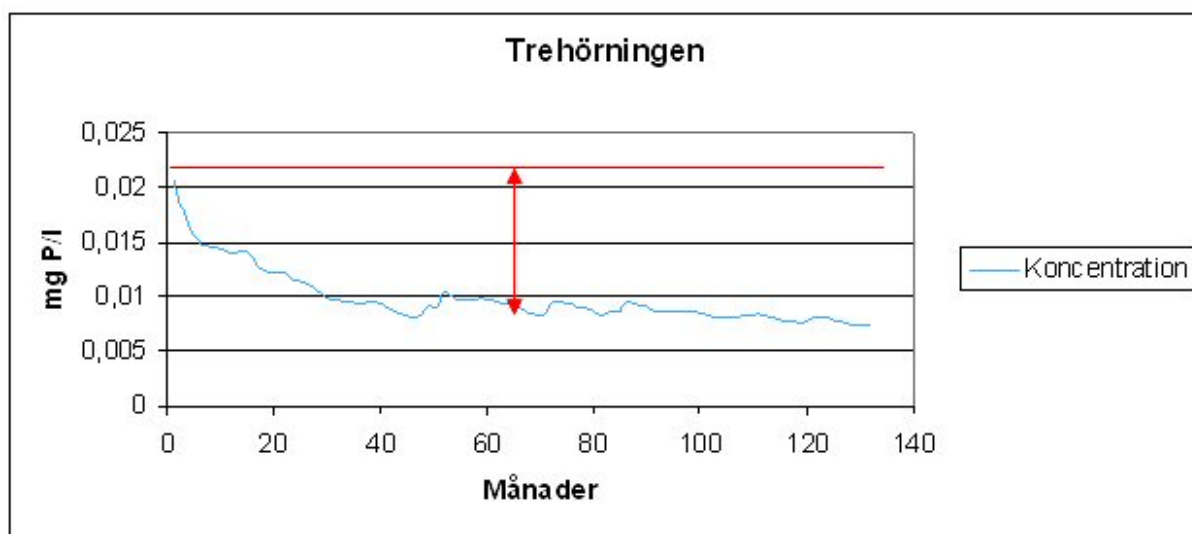


Figur 16. Procentuellt fördelad fosfortillförsel per källa och delavrinningsområde.

Bruttotillförseln av fosfor är olika stor i delavrinningsområdena (Tabell 11). Störst tillförsel i kilo fosfor per år har Trehörningen och Gårnsjön. Trehörningen har en bruttotillförsel på 225 kg/år och en retention på 180 kg/år, vilket ger ett nettoutflöde (efter retention) på 45 kg/år. Retentionen är stor i alla delavrinningsområden (70-80 %) utom i Gårnsjön vars retention är lägre (30 %). Fosforutflödet från varje delavrinningsområde är på grund av den höga retentionen mycket litet och bidraget till Sävjaån och därefter Fyrisån är ännu mindre.

Tabell 11. Tillförsel av fosfor till varje delavrinningsområde (brutto) i kilo per år samt mängden fosfor som lämnar området (netto). Skillnaden mellan mängd in och ut utgörs av retentionen. Fosforretention i varje delavrinningsområde presenteras i kg per år samt i procent.

Catchment ID	Bruttotillförsel (kg/år)	Nettoutflöde (kg/år)	Retention (kg/år)	Retention %
Gårnsjön	130	90	40	31 %
Edasjön	55	15	40	73 %
Norrsjön	15	5	10	67 %
Ramsen	35	15	20	57 %
Trehörningen	225	45	180	80 %



Figur 17. Modellerad fosforhalt i Trehörningen (blå linje är modellerad halt och röd linje initial halt dvs. uppmätt halt).

I Fyrismodellen sjönk den modellerade fosforhalten i Trehörningen (Figur 17) från den initiala, uppmätta, halten på 0,022 mg/l till att stabiliseras vid 0,009 mg/l. De övriga sjöarna följer i stort sett samma mönster. Antingen är någon/några källor i modellen underskattade eller så förekommer internbelastning från sedimenten. En dubbling av det modellerade läckaget från skog kan inte förklara skillnaden i uppmätt och modellerad halt (Tabell 12), inte heller en dubbling av fosforutsläppen från enskilda avlopp ger någon större effekt. Detta tyder på att internbelastning förekommer och är av stor betydelse.

Tabell 12. Uppmätt fosforhalt i sjöarna samt modellerade fosforhalter vid "normalt" läckage och vid dubblerat läckage från skog respektive enskilda avlopp.

	Uppmätt fosforhalt, medianvärde (mg/l)	Modellerad fosforhalt (mg/l)		
		vid normalt läckage*	Dubblerat läckage	
			Skog	Enskilda avlopp
Gårsjön	-	0.017	0.021	0.024
Edasjön	0.032	0.015	0.019	0.019
Norrsjön	0.025	0.006	0.007	0.007
Ramsen	0.028	0.003	0.004	0.007
Trehörningen	0.022	0.009	0.011	0.011

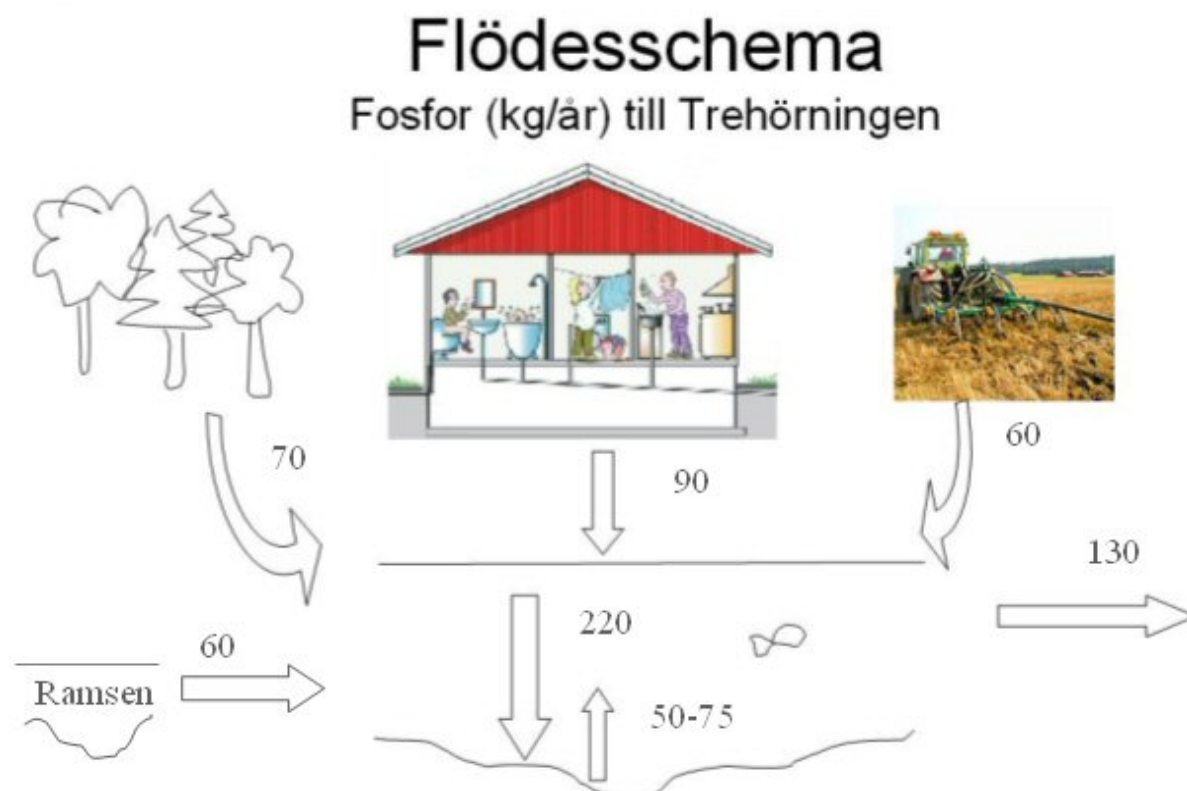
* Se tabell 4, 5 och 7.

Internbelastningens storlek varierar beroende på beräkningsätt och sjö (Tabell 13). I Trehörningen är nettotillförseln via internbelastning 50 till 75 kg per år.

Tabell 13. Uppskattad nettotillförsel via internbelastning i kilo fosfor per år för tre olika beräkningsmetoder.

	Minskad retention (kg/år)	Mindre utsläpp punktkälla (kg/år)	Skillnad i modellerad och uppmätt mängd ut ur sjön (kg/år)	Intervall (kg/år)
Trehörningen	50	67	76	50-75
Ramsen	26	41	56	25-55
Norrsjön	15	17	29	15-30
Edasjön	13	13	16	13-16

I Trehörningens delavrinningsområde är bruttotillförseln av fosfor från markanvändning och enskilda avlopp ca 220 kg per år (Figur 18). Från skog kommer 70 kg fosfor per år och från åkermark och övrig markanvändning kommer 60 kg. Från enskilda avlopp kommer det årligen 90 kg fosfor. Tillförseln av fosfor från enskilda avlopp utgör mänsklig påverkan och kan ses som ett "onaturligt" näringstillskott. Från de uppströms belägna sjöarna kommer det via Ramsen årligen 60 kg fosfor. Retentionen i Trehörningens är hög (80 %) vilket gör att en stor del av den tillförda fosfor sedimenterar. För att nå den uppmätta fosforhalt på 0,022 mg/l uppskattas nettotillförseln via internbelastning till mellan 50 och 75 kg per år. Bidraget från sediment utgör därmed en betydande fosforkälla. Eftersom retentionen är större än internbelastningen ökar fosforförrådet i sedimenten. Varje år transporteras ca 130 kg fosfor vidare till delavrinningsområdet nedströms.



Figur 18. Trehörningens fosforbalans (kg/år) med nuvarande belastning. Medelförhållanden 1995-2005. Den mängd fosfor som lämnar Ramsen och Trehörningen har beräknats utifrån sjöarnas volym och teoretisk omsättningstid (tabell 1) samt uppmätt fosforhalt i sjöarna (tabell 12).

4.5 Scenariomodellering

Med enskilda avlopp fördelade som idag släpps det årligen ut 140 kg fosfor i hela området (Tabell 14). Under de kommande 50 åren innebär det att det släpps ut totalt 7 ton fosfor från enskilda avlopp. Antas alla fastigheter ha godkända reningsanläggningar minskar fosforutsläppen till 25 kg/år samt ca 1,2 ton de kommande 50 åren. Med godkänd reningsanläggning menas i det här fallet infiltrationsanläggning. Ansluts alla fastigheter till kommunalt vatten och avlopp leds avloppsvattnet bort och utsläppen från enskilda avlopp upphör helt.

Tabell 14. Tabellen visar fosforutsläpp från fastigheters avlopp om fördelningen permanent (P)- och fritidsboende (F) är som idag. Andra kolumnen visar fosforutsläpp i kilo per år om reningstekniker för enskilda avlopp är fördelat som idag, tredje kolumnen visar fosforutsläpp om alla anläggningar uppfyller reningskraven samt fjärde kolumnen visar fosforutsläpp om alla fastigheter är kopplade till kommunalt vatten och avlopp (VA).

P/F- som idag	P/F-fördelning	Reningstekniker fördelade som idag (kg/år)	Alla godkända reningsanläggningar (infiltration) (kg/år)	Kommunalt VA (kg/år)
Trehörningen	109/126	90	20	0
Hela området	150/221	140	30	0

Antas alla fastigheter i hela området bebos permanent och fördelningen enskilda reningstekniker ser ut som idag ökar utsläppen av fosfor från 140 till 230 kg/år (Tabell 15). Om alla fastigheter däremot antas ha godkända reningsanläggningar ökar fosforutsläppen från 30 till 45 kg/år, vilket inte är en lika stor ökning.

Tabell 15. Fosforutsläpp från fastigheters avlopp om alla fastigheter antas bebos permanent. Andra kolumnen visar utsläpp i kilo fosfor per år om fördelningen reningstekniker ser ut som idag, Tredje kolumnen visar fosforutsläppen om alla fastigheter antas ha godkända reningsanläggningar och fjärde kolumnen visar utsläpp och alla fastigheter kopplas till kommunalt vatten och avlopp.

Permanentboende	P/F-fördelning	Reningstekniker fördelade som idag (kg/år)	Alla godkända reningsanläggningar (infiltration) (kg/år)	Kommunalt VA (kg/år)
Trehörningen	371/0	145	30	0
Hela området	235/0	230	45	0

Trehörningen är attraktivt område, men även känsligt för den belastning som omvandling av fritidshus till permanentboende medför. Vid ökad belastning från enskilda avlopp finns risk att orenat avloppsvatten når dricksvattentäkter, vilket medför hälsorisker. Vid ökad belastning på dricksvattentäkter finns även risk för inträngning av relik saltvatten, som i det här området finns i de djupare marina lerlagren. Detta skulle få allvarliga konsekvenser då denna typ av saltvatteninträngning förstör dricksvattentakten. Vill man se en expansion i området kan det vara en god idé att fundera på kommunalt vatten och avlopp.

5. Slutsatser

Trehörningens tillstånd

Trehörningen klassas som måttligt näringsrik till näringsrik. Sjön är eutrofierad och bör i möjligaste mån avlastas. I Trehörningen är näringsnivån stundtals så hög att det föreligger risk för omfattande algblooming.

Utsläppen från enskilda avlopp står för en stor del av fosfor som tillförs från land. Årligen tillförs Trehörningen ca 220 kg fosfor och av detta kommer 90 kg från enskilda avlopp. Tillförseln av fosfor från enskilda avlopp utgör en mänsklig påverkan och är därmed ett "onaturligt" näringstillskott. En stor del av fosfor från enskilda avlopp är lätt för växter att ta upp och bidrar i stor utsträckning till att fylla på sedimentens förråd av mobilt fosfor. Retentionen i sjön är hög vilket medför att en stor del av den tillförda fosfor sedimenterar och bara små mängder förs vidare till delavrinningsområden nedströms.

Internbelastningen har stor betydelse för fosforkoncentrationen i vattnet. Nettobelastningen från sedimenten uppskattas till 50-75 kg fosfor per år. Den modellerade retentionen kan dock vara överskattad, vilket medför osäkerheter i både mängden fosfor som sedimenterar och storleken på internbelastningen.

En stundvis omfattande internbelastning i Ramsen påverkar periodvis vattenkvaliteten i Trehörningen. Framför allt är det vattenkvaliteten vid Trehörningens inlopp som påverkas, i samma del ligger ett välbesökt utomhusbad.

Trehörningens framtid

Då retentionen är högre än internbelastningen ökar mängden fosfor som lagras i sedimenten. Historiskt sett har stora mängder fosfor släppts ut från bland annat enskilda avlopp. Detta är näring som idag finns lagrat i sedimenten och bidrar till internbelastningen. I alla sjöar sker naturligt en tillförsel av näring som gör att sjöar åldras och med tiden växer igen. Denna process tar mycket lång tid men vid tillförsel av extra näring från t ex avlopp blir sjöarna mer näringsrika och igenväxningen påskyndas avsevärt.

Området kring Trehörningen är känsligt för den belastning som omvandling av fritidshus till permanentboende medför. Vid ökat uttag från dricksvattentäkter finns risk för inträngning av relik saltvatten, vilket skulle vara förödande för de drabbade fastighetsägarna. Det finns även risk att belastning från framförallt infiltrationsanläggningar förorenar dricksvattnet. Vid en expansion av VA-systemet österut kan det därför vara en god idé att ansluta fastigheterna kring Trehörningen till kommunalt vatten och avlopp.

Fortsätter enskilda avlopp släppa ut samma mängder fosfor som idag eller om utsläppen ökar ansträngs näringssituationen i sjön ytterligare. Förbättras standarden på avloppen till att alla fastigheter har godkända reningsanläggningar minskar utsläppen från enskilda avlopp till Trehörningen från 140 till 30 kg/år. Det är dock inte realistiskt att anta att alla fastigheter har optimalt fungerande reningsanläggningar. Vid anslutning till kommunalt vatten och avlopp säkerställer man vattenförsörjningen samtidigt som vattenkvaliteten i sjön stabiliseras på nuvarande nivå samt att den kan förbättras på sikt.

Enskilda avlopp

Vanligast förekommande reningsteknik i hela området är infiltrationsanläggning men även slutentank är vanlig. Det är en stor andel fastigheter, ca 30 %, som saknar fullgod rening av avloppsvatten. Störst andel fosforutsläpp kommer från enskilda avlopp med enbart

slamavskiljare (50 %) samt enskilda avlopp som helt saknar rening (40 %). Infiltration, som är den vanligaste reningstekniken, står för mindre än 10 % av det totala fosforutsläppet. Många anläggningar är 20-30 år gamla och reningen i dessa är idag näst intill obefintlig. I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till anläggningens ålder och därför kan man inte utesluta att de faktiska utsläppen är underskattade. I hela området finns 370 fastigheter varav 140 är för permanent- och 120 för fritidsboende. De släpper tillsammans ut 140 kg fosfor per år. I Trehörningens delavrinningsområde finns 100 permanent- och 60 fritidshushåll som tillsammans släpper ut 90 kg fosfor per år. Antalet enskilda avlopp och reningstekniker bygger på antaganden som gjorts utifrån de tre kommunala registren.

Sammanställningen de tre kommunala registren var tidskrävande och resultaten var svåra att utvärdera. Uppgifterna i register var motstridiga och i vissa fall ofullständiga vilket utgör ett problem då detta leder till osäkerheter i informationen om de enskilda avloppen. Endast för 30 % av fastigheterna stämde uppgifterna i registren överens, för de resterande 70 % saknades uppgifter eller så var uppgifterna motstridiga. Att registren inte stämmer överens beror på att information äldre än 1989 kan saknas i kommunens tillståndsregister, att det förekommer svartbyggda enskilda avlopp samt att fastighetsägare inte är sanningsenliga vid fastighetstaxering.

Åtgärder

Om utsläppen från enskilda avlopp helt tas bort förbättras vattenkvaliteten i Trehörningen på sikt. Eftersom fosforbidraget från sedimenten är stort tar det dock tid innan mätbar förbättring av vattenkvaliteten kan uppnås.

För att med större säkerhet veta hur stor risken för algbloomning är behövs mer information om fosfor- och kvävehalter i sjön framför allt under maj till september.

Aluminiumfällning (se t.ex. Smeltzer 1990) kan vara ett alternativ för att minska internbelastningen om sjön inte anses kunna återhämta sig inom en rimlig framtid. Metoden är relativt dyr och lämpar sig därför bäst i sjöar med begränsade djuphålor, detta förhållande råder i både Trehörningen och Ramsen. En sådan åtgärd förutsätter att sjön först har avlastats från utsläpp från enskilda avlopp. Aluminiumfällning grundar sig på samma teknik som används i reningsverks fosforfällning. Fällningskemikalien sprids med slangar längs botten och fosfor i de övre sedimentlagren binds fast.

Eftertraktas bättre modellkalibrering och därmed säkrare modellresultat rekommenderas att det upprättas regelbundna mätningar av vattenkemin i Trehörningens utlopp. Resultaten i modellen är beroende av kvaliteten på kalibreringsdata. I hela Sävjaåns avrinningsområde finns större andel åkermark än i det studerade området vilket skulle kunna påverka modellkalibreringen då kalibreringsstationen vid Kuggebro inte är helt representativ för det studerade området.

För att veta om eventuell internbelastning i Ramsen påverkar Trehörningen bör dessutom vattenkemiprover tas i sundet mellan sjöarna under perioden för omblandning dvs. under vår och höst. Vattenprov bör även tas under period med temperaturskiktning och då på flera djup.

6. Referens

- Ahlgren, I & Broberg, A, 1999/2003. *Kväve och fosfor. Akvatisk ekologi HT 2004*. Avdelningen för Limnologi, Institutionen för Evolutionsbiologi, Uppsala Universitet.
- Bradt, M & Ejhed, H. 2002. *TRK Transport – Retention – Källfördelning Belastning på havet*. Naturvårdsverket, rapport 5247.
- Brunberg, A-K & Blomqvist, P. 1997. *Vatten i Uppsala län 1997*. Upplandsstiftelsens, rapport 8/1998.
- Gunnilstam, M. m.fl. 1984. *Limnologisk undersökning av sjön Trehörningen i februari 1984*. – Limnologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Hallgren, E. m.fl. 1977. *Limnologisk undersökning av sjön Ramsen i februari-mars 1977*. Limnologiska institutionen, Uppsala Universitet.
- Hansson, K. m.fl. 2006. *The FYRIS model Version 2.0 – A tool for catchment-scale modelling of source apportioned gross and net transport of nitrogen and phosphorus A user's manual*. Institutionen för miljöanalys, rapport 2006:16.
- Håkanson, L & Jansson, M. 1983. *Principles of Lake Sedimentology*. Springer, Heidelberg, s 80.
- Jansson, S m.fl. 1977. *Limnologisk undersökning av Gårsjön i februari och mars 1977*. – Limnologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Johansson, J-Å. & Kvarnäs, H. 1998. *Modellering av näringsämnen i Storsjön och dess tillrinningsområde*. Länsstyrelsen i Gävleborgs län. Rapport 1998:13. ISSN 0204-5954.
- Kamp-Nielsen, L. 1975. *A kinetic approach to the aerobic sediment-water exchange of phosphorus in Lake srom*. *Ecological Modeling* 1:153-160.
- Kvarnäs, H., 1996. *Modellering av näringsämnen I Fyrisåns avrinningsområde. Källfördelning och retention*. Rapport från Fyrisåns vattenförbund 1996, 31 sid.
- Kyllmar, K. 1995. *Växtnäringsförluster till vatten från ett jordbruksområde i södra dalarna 1989-94*. SLU Uppsala, avdelningen för vattenvårdslära, Seminerier och examensarbeten, rapport 26.
- Liss, B. 2003. *Kvantifiering av kväve- och fosforbelastning från enskilda avlopp*. Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet.
- Naturvårdsverket. 2004. *Kunskapsläget om enskilda avlopp i Sveriges kommuner En enkätstudie*. Naturvårdsverket, Rapport 5415.
- Naturvårdsverket. 2006. *K Naturvårdsverkets allmänna råd[till 2 och 26 kap. miljöbalken och 12-14 och 19 §§förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhetoch hälsoskydd] om små avloppsanordningar förhushållsspillvatten*; Naturvårdsverket, NFS 2006:7.

Rydin, E. 2005. *Rörligt fosfor i Fagersjövikens sediment*. Naturvatten i Roslagen AB. Rapport 2005:19.

Smeltzer, E. 1990. *A successful alum/aluminate treatment of Lake Moray, Vermont*. Lake and Reservoir Management, vol. 6, nr. 1, s. 9-19.

Sonesten, L., Wallin, M. & H. Kvarnäs, 2004. *Kväve och fosfor till Väner och Västerhavet. Transporter, retention och åtgärdsscenerierna inom Göta älvs avrinningsområde*. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, rapport nr 2004:33. ISSN 1403-168X.

Wallsten, M. 1993 *Trehörningen hösten 1992*. Intern rapport, Miljökontoret, Uppsala kommun.

Johnsson, H. m fl. 2007. *Näringsläckage från svensk åkermark – Beräkningar av normalutlakning av kväve och fosfor för 1995 och 2005*. Preliminär rapport.

Personlig

Broberg, Anders. Universitetslektor, Institutionen för ekologi och evolution, Limnologi, Uppsala Universitet. Tele: 018-4712711. 2007-02-26.

Rydin, Emil. Forskare, Institutionen för ekologi och evolution, Limnologi, Uppsala Universitet. Tele: 018-4712714. 2007-02-26.

Lindberg, Åsa. Miljökontoret/Miljö & Hälsa. Tele: 018-727 43 13. 2007-03-01.

Larsson, Anders. Limnolog VA- och avfallskontoret/ Planeringsavdelning. Tele: 018-7274337. 2006-11-30.

Wallin, Mats. Forskningsledare. Institutionen för miljöanalys, SLU Uppsala. Tele: 018-673125. 2007-01-18.

Nordman, Olof. Miljökontoret/Miljö & Hälsa. Tele: 018-7274320. 2007-03-29.

Internet

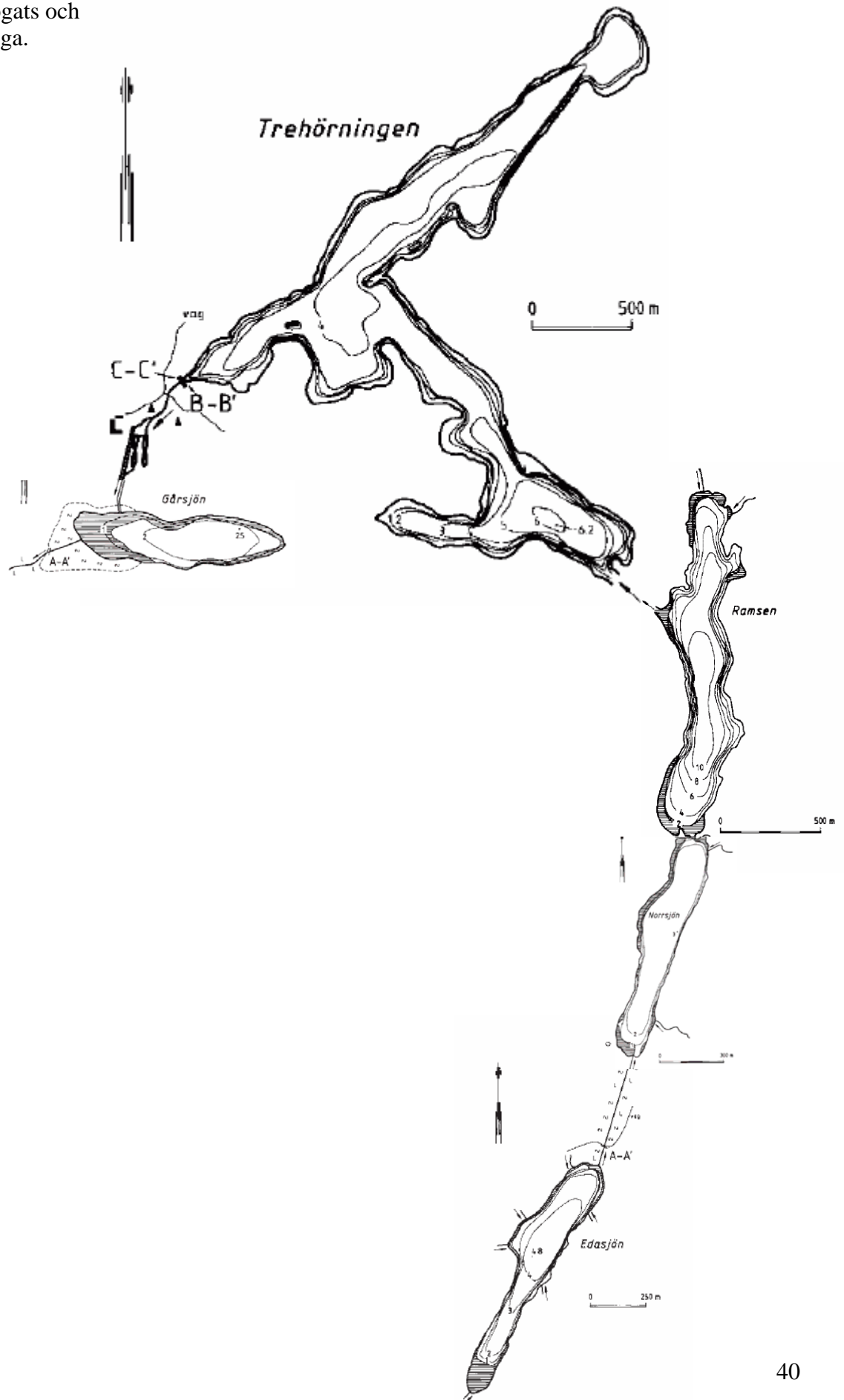
Naturvårdsverket. Verksamheter med miljöpåverkan. Avlopp. Enskilda avlopp. Reningseffekter – småskaliga anläggningar. 2007-05-25
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Avlopp/Enskilda-avlopp/Reningseffekter---smaskaliga-anlaggningar/>

Institutionen för miljöanalys. Data finns här. Databank för vattenkemi. 2007-05-28
[http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi\\$Project?ID=Intro](http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi$Project?ID=Intro)

Fyrisåns vattenförbund. Interaktiv karta. 2007-05-28.
www.fyrisan.se

Bilaga 1. Djupkartor

Djupkartor över sjöarna i området (Brunberg & Blomqvist, 1997). Kartorna har sammanfogats och är skalenliga.



Bilaga 2. Typhalter

Typhalter för beräkning av fosforläckage
från åker- och jordbruksmark (Johnsson, 2007).

Avrinningsområde ID	Jordbruksmark (mg/l)	Betesmark (mg/l)
23	0.271	0.231
30	0.338	0.309
36	0.354	0.312
40	0.340	0.309
43	0.419	0.378
44	0.316	0.282
45	0.352	0.312
46	0.428	0.378
47	0.464	0.388
53	0.346	0.309
57	0.318	0.282
58	0.345	0.309
59	0.423	0.375
60	0.344	0.309
62	0.340	0.000
63	0.318	0.282
64	0.430	0.378
65	0.411	0.375
66	0.319	0.282
67	0.351	0.312
68	0.267	0.245
71	0.432	0.388
72	0.432	0.388
73	0.432	0.388
74	0.432	0.388

Bilaga 3. Analysresultat sediment

Resultat från Erkenlaboratoriets (SWEDAC ackrediterat) analyser av sedimentpropparna. Analysresultat för vattenhalt, glödgningsförlust, fosforfraktionering av sedimentpropparna i Trehörningen (Stiftsgården och Djuphålan) samt i Ramsen och den procentuella fördelningen av de olika fosforfraktionerna.

Provpunkt	Sedimentdjup	Vattenhalt (%)	Glödgningsförlust (%)	Densitet (g/cm ³)	Löst bunden P (µg/g TS)	Järnbunden P (µg/g TS)	Aluminium bunden P (µg/g TS)	Kalcium bunden P (µg/g TS)	Totalfosfor (µg/g TS)	rest-P (µg/g TS)	Organiskt bunden P (µg/g TS)	Löst bunden P (%)	Järnbunden P (%)	Aluminium bunden P (%)	Kalcium bunden P (%)	rest-P (%)	Organiskt bunden P (%)
Stiftsgården	0-1 cm	96.3	36.4	1.01	38	410	83	190	1900	330	800	2.0	22.4	4.5	10.0	18.0	43.1
Stiftsgården	2-3 cm	94.1	32.9	1.03	35	210	52	160	1400	270	640	2.6	15.2	3.8	12.0	19.8	46.6
Stiftsgården	4-5 cm	93.4	31.5	1.05	20	180	61	170	1200	180	570	1.7	15.3	5.1	14.5	15.5	48.0
Stiftsgården	6-7 cm	92.6	32.1	1.03	22	160	67	150	1200	260	510	1.9	13.7	5.7	12.9	22.4	43.4
Stiftsgården	14-15 cm	89.6	25.1	1.05	3	73	45	160	730	170	280	0.3	10.0	6.2	22.3	23.0	38.2
Stiftsgården	24-25 cm	83.8	23.4	2.60	1	73	45	190	660	180	170	0.1	10.9	6.8	29.3	27.7	25.2
Djuphålan	0-1 cm	94.2	29.7	1.03	29	340	72	150	1600	430	570	1.8	21.3	4.5	9.6	27.0	35.7
Djuphålan	2-3 cm	93.3	29.1	1.03	20	350	76	150	1200	58	550	1.7	29.2	6.3	12.4	4.8	45.6
Djuphålan	4-5 cm	92.7	28.5	1.05	16	350	75	150	1300	210	540	1.2	26.3	5.6	10.9	15.8	40.2
Djuphålan	6-7 cm	92.3	29.5	1.02	11	330	86	160	1300	170	560	0.9	24.7	6.5	12.2	13.3	42.5
Djuphålan	14-15 cm	89.7	23.9	2.60	0	280	92	160	1000	160	340	0.0	26.8	8.9	15.5	15.8	32.9
Djuphålan	24-25 cm	85.3	24.2	2.60	0	310	100	180	970	140	240	0.0	31.5	10.6	18.9	13.9	25.0
Ramsen	0-1 cm	94.8	29.7	1.02	31	1100	49	170	2100	130	650	1.5	51.0	2.3	8.1	6.1	31.0
Ramsen	2-3 cm	91.8	24.4	1.05	3	560	52	190	1500	100	550	0.2	38.4	3.6	12.7	7.2	38.0
Ramsen	4-5 cm	90.2	23.9	1.08	4	620	50	180	1600	200	550	0.2	38.7	3.1	11.4	12.6	34.0
Ramsen	6-7 cm	89.3	23.5	2.60	5	650	48	200	1500	5	580	0.4	43.8	3.2	13.2	0.3	39.0
Ramsen	14-15 cm	84.9	23.7	2.60	0	350	46	190	1000	75	370	0.0	33.7	4.4	18.4	7.3	36.2
Ramsen	21-22 cm	80.2	20.9	8.08	1	480	48	210	1300	60	460	0.1	38.0	3.8	16.5	4.7	36.8

Bilaga 4. Bakgrundshalter

Uppskattade bakgrundshalter för sedimentprofilerna.

Provpunkt	Bakgrundshalter ($\mu\text{g/gTS}$)		
	Löst bunden fosfor	Järnbunden fosfor	organiskt bunden fosfor
Stiftsgården	3	73	230
Djuphålan	0	280	300
Ramsen	0	400	400

Bilaga 5. Analysresultat vattenkemi

Tabell 1. Analysresultat från vattenkemiprover tagna av VA- och avfallskontoret under hösten 2006.

Trehörningen

Datum	Plats	X-koordinater	Y-koordinat	Djup (m)	Siktdjup (m)	Temp (°C)	Syrgas (mg/l)	Tot-P (µg/l)	PO ₄ -P (µg/l)	NH ₄ -N (µg/l)	NO ₂ +NO ₃ (µg/l)	Tot-N (µg/l)
2006-10-11	Stiftsgården botten	6638450	1617390	3.6		13.30	7.80	28	<10			
2006-10-11	Stiftsgården ytan	6638450	1617390		1.7	13.30	7.60					
2006-10-11	Mitten ytan	6637740	1616670			13.20	7.50	35	<10			
2006-10-11	Mitten botten	6637740	1616670	3.7		13.30	7.20	28	<10			
2006-10-11	Djuphåla yta	6636610	1617700		1.7	13.20	7.00					
2006-10-11	Djuphåla botten	6636610	1617700	5.8		13.20	5.60	38	<10			
2006-11-30	Stiftsgården yta	6638450	1617390		2.6	5.00	10.80	21	<10	210	150	960
2006-11-30	Stiftsgården botten	6638450	1617390	4.2		4.90	10.40	22	<10	190	140	940
2006-11-30	Djuphålan ytan	6636610	1617700			4.80	9.90	25	<10	190	140	940
2006-11-30	Djuphålan botten	6636610	1617700	6.2		4.70	9.90	25	<10	190	150	960

Ramsen

Datum	Plats	X-koordinater	Y-koordinat	Djup (m)	Siktdjup (m)	Temp (°C)	Syrgas (mg/l)	Tot-P (µg/l)	PO ₄ -P (µg/l)	NH ₄ -N (µg/l)	NO ₂ +NO ₃ (µg/l)	Tot-N (µg/l)
2006-10-11	Djuphålan Yta	6635940	1618340		4.8	13.6	7.7	20	<10			
2006-10-11	Djuphålan Botten	6635940	1618340	10.5		7.0	0.2	590	580			
2006-11-30	Djuphålan Yta	6635940	1618340		2.3	5.0	9.7	31	17	83	120	680
2006-11-30	Djuphålan Botten	6635940	1618340	11.5		4.8	9.3	31	21	83	120	670

Norrsjön

Datum	Plats	X-koordinater	Y-koordinat	Djup (m)	Siktdjup (m)	Temp (°C)	Syrgas (mg/l)	Tot-P (µg/l)	PO ₄ -P (µg/l)	NH ₄ -N (µg/l)	NO ₂ +NO ₃ (µg/l)	Tot-N (µg/l)
2006-10-11	Yta	6634750	1618170		2.0	12.7	7.7	24	<10			
2006-10-11	Botten	6634750	1618170	2.8		12.8	7.4	30	<10			

Tabell 2. Analysresultat och egna kommentarer från provtagning i vattendrag den 24 januari 2007.

Prov punkt	Tid	X-koordinat	Y-koordinat	Bredd (m)	Djup (m)	Konduktivitet (mS/m)	NH ₄ (µg/l)	NO ₂ + NO ₃ (µg/l)	Tot-N (µg/l)	PO ₄ (µg/l)	Tot-P (µg/l)	Kommentar
1	09:20	6633630	1617670	0.2 ?	0.1	18.7	24	360	870	33	48	Sandigbotten
2	09:15	6633640	1617800			14.4	16	260	800	20	36	översvämmat dike/mark
3	09:10	6633910	1617890	0.3	0.1	7.1	<10	320	1100	<10	<20	Liten snabbt rinnande skogsbäck
4	09:00	6634320	1618070	0.4	0.20	10.3	<10	<10	980	<10	<20	Liten snabbt rinnande skogsbäck
5	11:15	6632570	1617190			12.6	75	1200	1900	24	52	översvämmat dike/mark ganska sävligt vatten
6	12:45	6637330	1615910			22.3	<10	420	960	<10	<20	rinner kraftigt
7	12:30	6636640	1616920			19.8	86	280	1200	37	52	översvämmat dike/mark rinner kraftigt
8	17:00	6636950	1614410	2-3		23.7	<10	520	1100	19	30	Mkt vatten
9												Verkar inte finnas något dike
10	13:00	6638390	1616770	0.5	0.3	39.1	<10	620	1300	28	39	Taget innan banvallen, ganska stilla och klart vatten.
11	13:15	6639280	1618080	1.5-2	0.5	27.3	29	1000	1900	16	35	Sävlig
12	13:40	6638800	1617970	0.5	0.1	26.6	<10	400	840	18	24	Vassklätt dike
13	16:10	6636330	1618060			19.5	<10	290	730	15	22	sundet mellan Ramsen och Trehörningen
14	16:00	6636350	1617990			23.6	52	720	1600	17	33	Forsar
15	14:00	6636830	1618490	2	0.3-0.4	32.0	34	2100	2600	11	<20	Skogsdike, blandskog, rinner sakta.
16	15:10	6635120	1618270			14.1	68	200	840	11	25	Mellan Norrsjön och Ramsen, taget söder om bron
MAX						39.1	68.0	2100.0	2600.0	28.0	39.0	
MIN						7.1	16.0	200.0	730.0	11.0	22.0	
Medel						20.7	48.0	620.7	1248.0	20.8	36.0	
Median						19.8	43.0	410.0	1100.0	18.5	35.0	

Bilaga 6. Markanvändning och källfördelning

Markanvändning (km²) i området.

	Sjö (km²)	Vattendrag (km²)	Skog (km²)	Hygge (km²)	Myr (km²)	Åker (km²)	Bete (km²)	Övrig öppen mark (km²)	Bebyggelse (km²)	Totalt (km²)
Gårsjön	0,10	0,01	2,89	0,33	0,06	0,68	0,29	0,19	0,03	4,6
Edasjön	0,14	0,00	3,52	0,00	0,04	0,07	0,03	0,16	0,19	4,2
Norrsjön	0,16	0,00	1,91	0,00	0,03	0,01	0,00	0,07	0,01	2,2
Ramsen	0,40	0,00	2,77	0,00	0,02	0,09	0,07	0,07	0,00	3,4
Trehörningen	1,32	0,01	10,68	0,26	0,17	0,43	0,16	0,82	0,53	14,4

Resultat från källfördelningen (exkl. Internbelastning). Fosfortillförsel i kg/år.

Delavrinningsområde	Skog (kg P/år)	Hygge (kg P/år)	Myr (kg P/år)	Åker (kg P/år)	Bete (kg P/år)	Övrig öppen mark (kg P/år)	Bebyggelse (kg P/år)	Enskilda avlopp (kg P/år)	Totalt (kg P/år)
Gårsjön	19	2	0	57	22	1	0	28	130
Edasjön	24	0	0	6	2	1	1	19	54
Norrsjön	13	0	0	1	0	0	0	2	17
Ramsen	19	0	0	8	5	0	0	2	34
Trehörningen	72	2	1	37	12	6	4	90	223