

### 3.2 Miljökonsekvensbeskrivning (MKB)

En miljökonsekvensbeskrivning (MKB) tillämpad på de alternativa avloppssystemen i Bergsjön och Hamburgsund finns redovisad i rapport av Stenberg m fl (1996).

Den framtagna MKB:n är inte fullständig om man ser till definitioner i Miljöskyddslagen och Naturvårdsverkets anvisningar. En MKB är både ett dokument och en process där olika aktörer är inblandade; den sökande, länsstyrelsen, kommunen, intressenter och allmänheten. I vår miljökonsekvensutredning finns endast utredarnas perspektiv beskrivet.

MKB-utredningen omfattar dels en beskrivning av traditionellt slag, sådan de hittills sett ut i VA-sammanhang, dels en utvidgad beskrivning där hushållning med resurser och livscykelaspekter tas med. Den traditionella MKB:n omfattar framförallt en analys av påverkan på mark, vatten, luft och hälsa, dvs lokala effekter. Den utvidgade MKB:n tar även med globala effekter.

Identifieringen av de relevanta miljöaspekterna gjordes genom att för varje avloppssystem belysa följande punkter:

- 1 Användning av mark
- 2 Påverkan på flora
- 3 Påverkan på fauna
- 4 Påverkan på landskapsbild
- 5 Utsläpp till mark (avfall)
- 6 Utsläpp till luft
- 7 Utsläpp till vatten
- 8 Buller
- 9 Lukt
- 10 Hälsa och säkerhet
- 11 Rekreativvärden
- 12 Kulturvärden

I den utvidgade utredningen av miljökonsekvenserna togs även följande punkter med:

- 13 Användning av naturresurser vid drift av systemet
- 14 Energianvändning, exergianvändning

Punkterna följer i stort den checklista som finns i California Environmental Quality Act (CEQA) och som används i MKB sammanhang även i Sverige. För att kunna belysa punkterna 13 och 14 ovan hämtades uppgifter från livscykelstudien för Bergsjön och Hamburgsund.

Resultatet i MKB:n faller ut som ett stort antal miljöparametrar. Resultatet från den utvidgade miljökonsekvensbeskrivningen kan sammanfattas i *tabellerna 3.3*

och 3.4. För att värdera och rangordna parametrarna, exempelvis huruvida utsläpp av kväve till luft eller vatten har störst betydelse, har bl a regionala miljömål använts som hjälp.

De olika alternativa avloppslösningarna i Bergsjön och Hamburgsund har jämförts med ett noll-alternativ, vilket innebär det befintliga systemet med de förändringar som kan tänkas ske inom en 10-årsperiod. En förenklad värdering av vilket avloppssystem som är mest miljöanpassat har därefter skett.

**Tabell 3.3 Bergsjön MKB**

		<i>Noll- alternativ</i>	<i>Lokalt alternativ</i>	<i>Källseparerat alternativ</i>
Vattenförbrukning	Mm <sup>3</sup> /år	1	1	0,8
Dieseloilja, totalt	l/år	20700	30200	45000
- varav transporter		2370	11000	20400
Naturgrus	m <sup>3</sup> /år	0	3400	1400
Reningskemikalier	ton/år	160	0	0
<b>Elenergi förbrukning</b> Avloppsrening, pumpning drift / investeringar	Mwh/år	960 <sup>4</sup> / 30	365 / 35	90 / 35
Elenergi förbrukning Värmepumpanl, drift	Mwh/år	4380		
Fossil energi förbrukning drift / investeringar	Mwh/år	25 / 180	110 / 195	200 / 245
<b>Energianvändning, totalt</b> <i>varav drift</i>	MWh/år	5575 5365	705 475	570 290
<b>Återvinning</b>				
Värme från avloppsvatten och/eller biogas	MWh/år	13890	490	1020
El från biogas	MWh/år	350		
Handelsgödsel N-P-K besparing av tillverkning och transporter	MWh/år	115	155	300
<b>Energiåtervinning, totalt</b>	MWh/år	14355	645	1320
<b>Energibalans</b>	MWh/år	+ 8780	- 60	+ 750
Fosfor till jordbruk/markarbeten	ton/år	13,2	12,5	14,5
Kväve till jordbruk/markarbeten	ton/år	6,7	6,6	61,8
Kalium till jordbruk/markarbeten	ton/år	0,6	3,8	173
Besparing handelsgödsel				
Fosfor	ton/år	11,9	11,3	13,0
Kväve	ton/år	2,7	2,6	24,7
Kalium	ton/år	0,5	3,4	155
Avfall till deponi	ton/år	170	0,1	0,1

<sup>4</sup> I delrapport MKB av Stenberg m fl (1996) har den ökade elenergiförbrukningen för kväverenningsanläggningen ej tagits med i sammanställningarna. Ökningen blir ca 25 % vilket här innebär ett elbehov på 960 MWh/år för drift av reningsverket.

De miljöaspekter som ansågs viktigast i denna MKB var :

- utsläpp till vatten, framförallt av kväve och fosfor
- utsläpp till luft av koldioxid, kväveoxider, svaveldioxid
- energianvändning under drift
- hushållning med naturresurser och återföring av näringsämnen

**Tabell 3.4 Hamburgsund MKB**

		<i>Noll- alternativ</i>	<i>Lokalt alternativ</i>	<i>Källseparerat alternativ</i>
Vattenförbrukning	m <sup>3</sup> /år	67 000	67 000	59 000
Dieselolja, totalt varav transporter	l/år	9600 1200	3500 750	7000 1470
Naturgrus	m <sup>3</sup> /år	0	150	70
Renings-kemikalier	m <sup>3</sup> /år	30	0	0
<b>Energi</b>				
Elenergi förbrukning drift/investeringar	MWh/år	152/4	60/4	54/6
Fossil energi förbrukning drift/ investeringar	MWh/år	68/28	12/23	16/53
<b>Total Energianvändning varav drift</b>	MWh/år	250 220	100 72	130 70
<b>Energiåtervinning Handelsgödsel<sup>5</sup></b>	MWh/år	8	9	16
<b>Energibalans</b>	MWh/år	-242	-91	-114
Fosfor till kretslopp	kg/år	0 (860) <sup>6</sup>	875	930
Kväve till kretslopp	kg/år	0 (580) <sup>6</sup>	1090	4300
Kalium till kretslopp	kg/år	0	>0-alterna- tivet	> lokalt alternativ
Besparing handelsgödsel	kg/år			
Fosfor		0	790	840
Kväve		0	440	1720
Avfall till deponi	ton/år	130 ( <i>slam</i> )	0	0

<sup>5</sup> Handelsgödsel man slipper tillverka och transportera när slam och urin används som gödning.

<sup>6</sup> Återförd mängd om slammet nyttjades i jordbruket

### 3.2.1 Bergsjön

#### *Noll-alternativet*

Noll-alternativet för Bergsjön innebär nuvarande avloppslösning med överföring till kommunens reningsverk Ryaverket när detta är färdigutbyggt för kväverening.

Fördelarna med dagens hantering är att :

- utsläpp av behandlat avloppsvatten sker till en recipient där vattenföringen är stor och följaktligen utspädningen blir effektiv.
- fosforavskiljningen är hög eftersom kemisk fällning tillämpas på Ryaverket och fosfor fastläggs i kemslammet. Kvävet däremot avgår som kvävgas till luft efter kväverening och ammoniumkväve till vatten. Större delen av slammet får avsättning genom att det används för markbyggnadsändamål, en mindre del avsätts i jordbruket. Näringen i slammet kommer till användning vid markbyggnadsarbeten som golfbanor, etc eftersom man inte behöver gödsla under ett par år. Det är förstås ingen kretsloppslösning eftersom man inte skördar något på markytan.
- återvinning av energi sker i form av värme ur avloppsvattnet liksom biogas från rötning av slammet.

Nackdelarna med dagens system är att:

- slammet inte kan nyttjas fullt ut i jordbruket. Även om metallhalterna ligger inom de gränsvärden som finns uppställda tillåter inte de stora producentbolagen i livsmedel (Arla m fl), användning av avloppsslam från reningsverk. Anslutning av industrier och lakvatten från avfallsupplag liksom dagvattnet bidrar till förhöjda metallhalter i slammet.
- reningskemikalier används som kräver resurser för framställning och transporter. I Ryaverkets fall är dock fällningskemikalien, som är den största posten, en avfallsprodukt från Norge som annars skulle deponeras eller destruerats.
- energianvändningen i reningsverket är hög framförallt vad gäller el till värmepumparna. Kvävereningsanläggningen kommer att ge ca 25 % ökning av reningsverkets elförbrukning.
- transporterna blir långa för att få avsättning för slam inom jordbruket

### *Lokalt alternativ*

Det lokala alternativet innebär att avloppshanteringen sker lokalt i området. Eftersom de totala avloppsvattenmängderna är desamma som i nuvarande system krävs relativt stora behandlingsytor för reningen.

För att ta tillvara fosfor som fastlagts i filtersanden skall det övre skiktet bytas ut vart femte år. Det innebär i princip att 3 400 m<sup>3</sup> sand årligen skall transporteras bort till jordbruksmark samt att motsvarande mängd ny sand skall transporteras från något grustag till filterbäddarna. Slammet hämtas med slambil 5 gånger per brunn och år för transport till energianläggningen.

Filtratet från filterbäddarna släpps i de närliggande vattendragen Mellbybäcken och Kvibergsbäcken. Medelflödet i bäckarna kommer därvid att öka med över 100 % vilket bl a medför risk för erosion. Flora och fauna i vattensystemet kommer att förändras både på grund av det ökade flödet och den ökade näringstillförseln.

Fördelarna med ett lokalt system jämfört med det nuvarande är få. De som framstår som tydligast är att:

- inga kemikalier krävs för behandlingen
- elenergianvändningen är hälften av Ryaverkets (Bergsjöns andel) exkl. värmepumpar

Nackdelarna är fler, nämligen att:

- fordonstransporterna ökar, vilket medför ökade utsläpp av bl a koldioxid och kväveoxider samt att resurser förbrukas i form av diesel (vilket förutsätts användas).
- naturgrus används vilket är en bristvara i regionen. Det finns inte några bra miljöanpassade alternativ till natursand.
- ökade utsläpp av näringsämnen till en känslig recipient.
- återvinning av värme i avloppsvattnet är tekniskt möjligt men knappast ekonomiskt försvarbart i dagsläget.
- återföring av näringsämnen till jordbruksmark är lika eller något lägre än i nuvarande system.
- filterbäddsanläggningarna är ytkrävande. Totala ytan för avloppsbehandlingen är ca 20 gånger större än för ett konventionellt reningsverk.
- risk finns för störande lukt från slamavskiljarna som ligger inne bland bebyggelsen.

Vad gäller övriga studerade parametrar såsom återvinning av energi ur slammet, lokal påverkan på flora och fauna (förutom i vattendragen), hälsoaspekter, smittrisker, buller, ljus, lukt etc är nuvarande system och det lokala alternativet ungefär likvärd.

### ***Källseparerat alternativ***

Det källseparerade alternativet som innebär att de tre olika fraktionerna urin, fekalieslam och BDT-vatten skall hanteras innebär ett ökat transportarbete med fordon jämfört med noll-alternativet. Urin skall hämtas och transporteras till en mellanlagringstank vid lämplig jordbruksmark, fekalieslam och slam från slamavskiljare hämtas och transporteras till energianläggningen och sand från filterbäddarna skall bytas ut med vissa årsintervaller.

Det innebär också en effektiv återföring av näringsämnen till jordbruksmark, förutsatt att man hanterar urinen på ett sådant sätt att ammoniakavgång förhindras.

Eftersom smittrisker är mindre när fekalierna tagits ur systemet och endast BDT-vatten behandlas i filterbäddarna har dessa kunnat placeras inne i bostadsområdet. Detta har inneburit lägre lyfthöjder och kortare transportsträckor i ledningar vid pumpning än för det lokala alternativet.

Fördelarna med källseparerat system jämfört med noll-alternativet och lokalt alternativ är att :

- risken för smittspridning minimeras genom att fekalierna, som innehåller mycket bakterier och eventuellt även virus, tas om hand separat.
- återföringen av näringsämnen till jordbruket är störst framförallt vad gäller kväve och kalium
- användningen av energi är lägst ungefär en fjärdedel av elanvändningen i det lokala alternativet, eftersom pumpningen kan begränsas.
- en form av energiåtervinning sker när slam ersätter handelsgödsel eftersom man slipper tillverka motsvarande mängd gödsel. För tillverkning av kvävegödsel och fosfater krävs främst energi av fossilt ursprung.
- utsläpp av näringsämnen till recipienten är lägst för detta alternativ

Nackdelarna med det källseparerade systemet är att:

- transportarbetet blir ännu större än för det lokala alternativet vilket innebär mer utsläpp av koldioxid, kväveoxider m m om oljebaserat bränsle används till fordonen.

- behandling i filterbäddar och våtmarker fortfarande är ytkrävande, dock något mindre ytkrävande än det lokala alternativet eftersom avloppsvattenmängderna är mindre.
- utsläpp av renat avloppsvatten sker till känsliga närrecipienter. Ökning av vattenflöde och näringsämnen ger förändrade förhållanden.
- urintankar och fekalieslamtankar inne i bebyggelsen kan ge luktstötter speciellt vid tömningstillfällena. Detta borde man tekniskt kunna åtgärda.

### *Värdering av miljöpåverkan*

De studerade miljöparametrarna delades in i tre olika kategorier:

- Naturens villkor            utsläpp till mark, vatten och luft samt påverkan på flora och fauna.
- Människans villkor        direkta störningar som påverkar hälsan buller, lukt och hälsa/säkerhet, störningar som påverkar landskapsbild, rekreation och kulturvärden.
- Genomförande                markbehov.

Parametrarna under "Naturens villkor" fick högst prioritet. De regionala miljömålen prioriterar också åtgärder inom detta område. Eftersom utsläpp till luft och utsläpp till vatten liksom hushållning med resurser ges högst prioritet stod valet av bäst miljöanpassat avloppssystem mellan befintligt system och det källseparerade systemet. En studie av de lokala förhållandena i Göteborg visade att procentuellt sett är avloppssystemens andel av de totala kväveutsläppen till vatten större än andelen av utsläppen till luft. Därvid framstår det som viktigare att begränsa utsläppen till vatten än till luft när det gäller kväveutsläpp i avloppssammanhang. Det källseparerade alternativet kan därmed anses vara mest miljöanpassat eftersom det ger lägst utsläpp av kväve till recipienten.

I en storskalig avloppsanläggning som Ryaverket är det fördelaktigt (ekonomiskt åtminstone) att ha värmepumpar för återvinning av värme ur avloppsvattnet. Återvunnen energimängd är ca 13 gånger större än i det lokala alternativet där endast rötning av slam ger energi. För att driva värmepumparna krävs dock elenergi. Förhållandet mellan insatsen el i kWh och återvunnen värme är 1:3. Ur exergisynpunkt kan detta vara en tveksam lösning. Exergi är ett mått på energins kvalitet. El, kemisk energi och fossil energi har högst exergivärde. Spillvärme har lägst exergi. När det gäller värmepumparna i Rya visar beräkningar av Wall (1992) att exergitvånet (verkningsgraden) trots allt, totalt sett, är 57 %. En exergianalys av de olika alternativen i Bergsjön finns redovisat i Hellström och Kärrman (1996).



### ***Slutsatser för Bergsjön***

Traditionellt behandlar en MKB främst lokala effekter. I det perspektivet medför en förändring från befintligt avloppssystem till lokalt alternativ eller källseparerat alternativ flera negativa effekter i Bergsjön. Utsläppen till närrecipienten kommer att öka både vad gäller flöden och näringsämnen. Trafiken inom bostadsområdena kommer att öka något. Luktproblem kan uppstå tidvis. Ytor för rekreation och lek tas i anspråk för filterbäddar. Inget av alternativen förutspås dock ge några betydande hälsorisker.

Det är dock viktigt att inte avgränsa MKB:n till att bara beröra lokala effekter. Hushållning med resurser bör tas med i en MKB för att kunna analysera en aktivitetens hela inverkan på miljön i ett vidare perspektiv. När man tar med dessa aspekter faller det källseparerande alternativet bäst ut. Det har det lägsta utsläppet av kväve till vatten, återför mest näringsämnen till jordbruket samt kräver minst energi för investering och drift av systemet. Med energianvändning menas i det här fallet summan av elförbrukning och fossila bränslen. Förhållandet el och fossilt bränsle är 1:3.5. Återvinning av energi sker i form av biogas i samtliga alternativ samt i form av värme ur avloppsvattnet i det befintliga systemet.

### **3.2.2 Hamburgsund**

#### ***Noll-alternativet***

Noll-alternativet för Hamburgsund innebär en konventionell avloppshantering i reningsverk med mekanisk, kemisk och biologisk behandling. Reningsverkets kapacitet är 2 500 pe. Utbyggnad av ett kvävereningssteg är ej aktuellt. Fördelen med denna typ av avloppssystem jämfört med de övriga alternativen är att:

- anläggningen tar i anspråk en förhållandevis liten markyta.

Nackdelarna är att :

- trots att slamkvaliteten är bra finns ingen avsättningsmöjlighet idag i jordbruket. Slammet transporteras och hanteras i flera steg för att slutligen deponeras.
- reningskemikalier används som kräver energi för framställning och transporter.
- näringen i avloppsvattnet ej tas tillvara.

#### ***Lokalt alternativ***

Lokalt alternativ innebär att reningsverket byggs om för att nyttjas som en stor slamavskiljare. I anslutning till filterbäddarna torkas slammet på en slamtorkbädd.

Fördelarna med det lokala systemet är flera, nämligen att:

- inga reningskemikalier behövs
- slamvolymen minskar med 90 % vid slamtorkningen vilket innebär ett lätthanterligt slam som det förutsätts finnas avsättning för.
- transportarbetet minskar vilket ger minskade utsläpp av föroreningar. (Det lokala alternativet ger den lägsta förbrukningen av fossila bränslen i driftskedet.)
- den totala energianvändningen är lägst (mindre än hälften av nollalternativet).
- under växtsäsong nyttjas en delström av avloppsvattnet för bevattning vilket innebär att näring kommer till användning.
- dammar och serpentindiken kan utgöra ett intressant inslag i landskapet.
- återföring av näringsämnen till jordbruksmark sker även via filterbäddssand vars övre skikt byts ut med vissa årsintervall.

De nackdelar som kan ses med denna lösning är att:

- den valda närrecipienten, en mindre vik i Hamburgsund, är känsligare som utsläppspunkt än nollalternativets utsläppspunkt där vattenomsättningen är högre.
- ytor tas i anspråk som inkräktar på jordbruksmark och friluftsliv.
- naturgrus som är en bristande naturresurs i regionen används för filterbäddarna

En jämförelse mellan nollalternativet och lokalt alternativ visar att det är en klar fördel att ha ett avloppssystem med en lösning enligt det lokala alternativet.

### ***Källseparerat alternativ***

Det källseparerade alternativet innebär att varje fastighet eller lämplig grupp av fastigheter har en gemensam uppsamlingstank för urin respektive fekalieslam. I enstaka fastigheter passar det bättre med multrum där en torr lösning för hantering av fekalier tillämpas.

Hanteringen av BDT-vattnet är densamma som för det lokala alternativet; avloppsreningsverket byggs om till slamavskiljare och pumpstation, befintligt ledningsnät med pumpstationer används, filterbäddar och diken anläggs. En delström av vattnet används för bevattning liksom i det lokala alternativet.

Fördelarna med denna avloppslösning jämfört med noll-alternativet och lokalt alternativ är att:

- återföringen av näringsämnen blir mest effektiv.
- användningen av el för driften är lägst men den totala energianvändningen (investering och drift) är lägst i det lokala alternativet.
- utsläpp av näringsämnen till recipienten blir lägst.

Nackdelarna är att:

- investeringar måste göras i tankar av olika slag, vakuumutrustning m m vilket innebär att energianvändningen för tillverkning av produkterna är lika hög som energianvändningen vid drift. Noll-alternativet har dock den högsta totala energianvändningen.
- naturgrus används, men den årliga mängden är lägre än i det lokala alternativet.
- trafiken inom tätbebyggelsen kommer att öka eftersom tankar av olika slag skall tömmas regelbundet.

### ***Värdering av miljöpåverkan***

Till skillnad mot förhållandena i Bergsjön är resultaten för Hamburgsund mer entydiga och lättare att jämföra. Recipienten är i stort sett densamma och i samtliga fall sker ingen energiåtervinning i form av värme eller biogas ur avloppsvattnet. Samma värderingsprinciper har tillämpats som i Bergsjön.

### ***Slutsatser för Hamburgsund***

Hamburgsund skiljer sig från Bergsjön genom att alla alternativ har utsläppspunkt till havet. På grund av lägst utsläpp av näringsämnen blir det källseparerade alternativet klart mest gynnsamt från utsläppssynpunkt, följt av det lokala alternativet. Men precis som i Bergsjön medför dessa båda alternativ lokala effekter på grund av större markanspråk, fler fordonstransporter som medför buller, luftutsläpp osv.

När det gäller hushållningen med resurser faller lokalt alternativ bäst ut på grund av lägst energianvändning i form av el och fossilt bränsle. Recirkulationen av fosfor är likvärdig för lokalt och källseparerat alternativ. Det befintliga systemet innebär att ingen återföring av näringsämnen sker eftersom slammet inte kan nyttjas i jordbruket.

En slutsats av MKB:n i Hamburgsund är alltså att källseparerat alternativ är gynnsammast när det gäller lokala effekter medan lokalt alternativ medför bäst

resurshushållning. Den bästa lösningen är kanske en kombination av de två alternativen, t ex att urinseparering införs och att BDT-vatten och fekalier avleds till gemensam behandling i ett lokalt system.

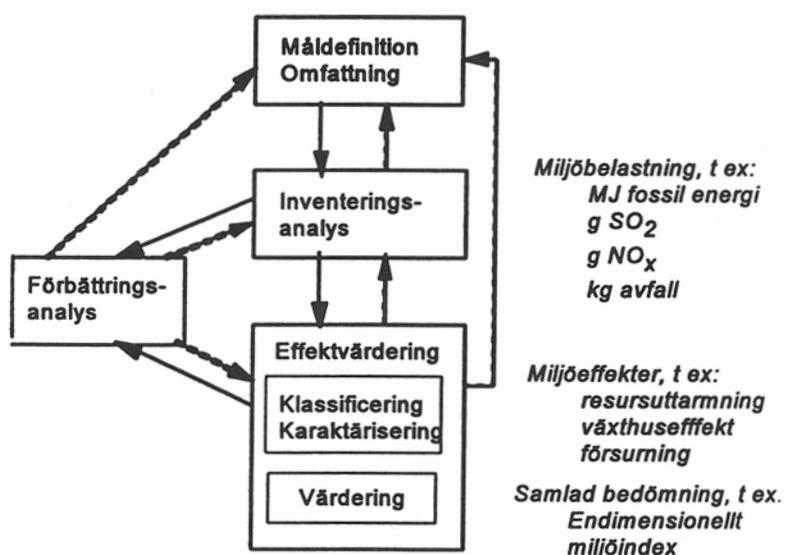
### 3.3 Livscykelanalys

#### 3.3.1 Allmänt

Den livscykelanalys som gjorts i projektet finns rapporterad i Tillman m fl (1996).

Livscykelanalys (LCA) är en metod att analysera och värdera miljöpåverkan av en produkt, ett material, eller en tjänst under dess hela livscykel från vaggan till graven.

Proceduren för att genomföra en LCA kan förenklat beskrivas som i figuren nedan.



I måldefinitionen formuleras den fråga som analysen skall ge svar på samt görs grundläggande antaganden och systemavgränsningar.

I inventeringsanalysen inventeras och beräknas miljöbelastningen för olika aktiviteter i systemet. Miljöbelastningen anges i mängd utsläpp av föroreningar och resursförbrukning t ex g NO<sub>x</sub>, kg järn, kg avfall, MJ fossil energi.

Vid effektvärderingen klassificeras de olika miljöparametrar samt viktas och värderas med olika metoder som t ex EPS-systemet, Effektkategorimetoden

eller ECO-knapphetsmetoden, se faktaruta 8.

<i>Faktaruta 8</i>	
<b><i>EPS-systemet</i></b>	relaterar en miljöbelastning till fem olika skyddsobjekt. Värderingen baseras på betalningsvillighet för återställande av skada som erhålls på skyddsobjekten. Metoden lägger stor vikt på utarmning av ändliga resurser och global påverkan, främst växthuseffekten. Detta gör att parametrar som användning fossila resurser och CO <sub>2</sub> dominerar resultaten.
<b><i>Effektkategorimetoden</i></b>	Belastningar delas in i olika effektkategorier efter deras potentiella bidrag till de olika effekter som varje kategori representerar. Viktningen mellan varje kategori baseras bl.a. på politiska mål. Resultaten domineras mer av effekter som har en mer regional anknytning såsom övergödning och försurning, varför parametrar som NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> och totala utsläpp av kväve och fosfor till vatten ger hög inverkan på slutresultaten.
<b><i>ECO-knapphetsmetoden</i></b>	Värdering enligt principen om ekologisk knapphet som baseras på förhållandet mellan totala utsläppsmängder och kritiska belastningsmängder. På liknande sätt som för effektkategorimetoden är generellt totala utsläpp av kväve och fosfor, såväl NO <sub>x</sub> och SO <sub>2</sub> de parametrar som dominerar resultaten.

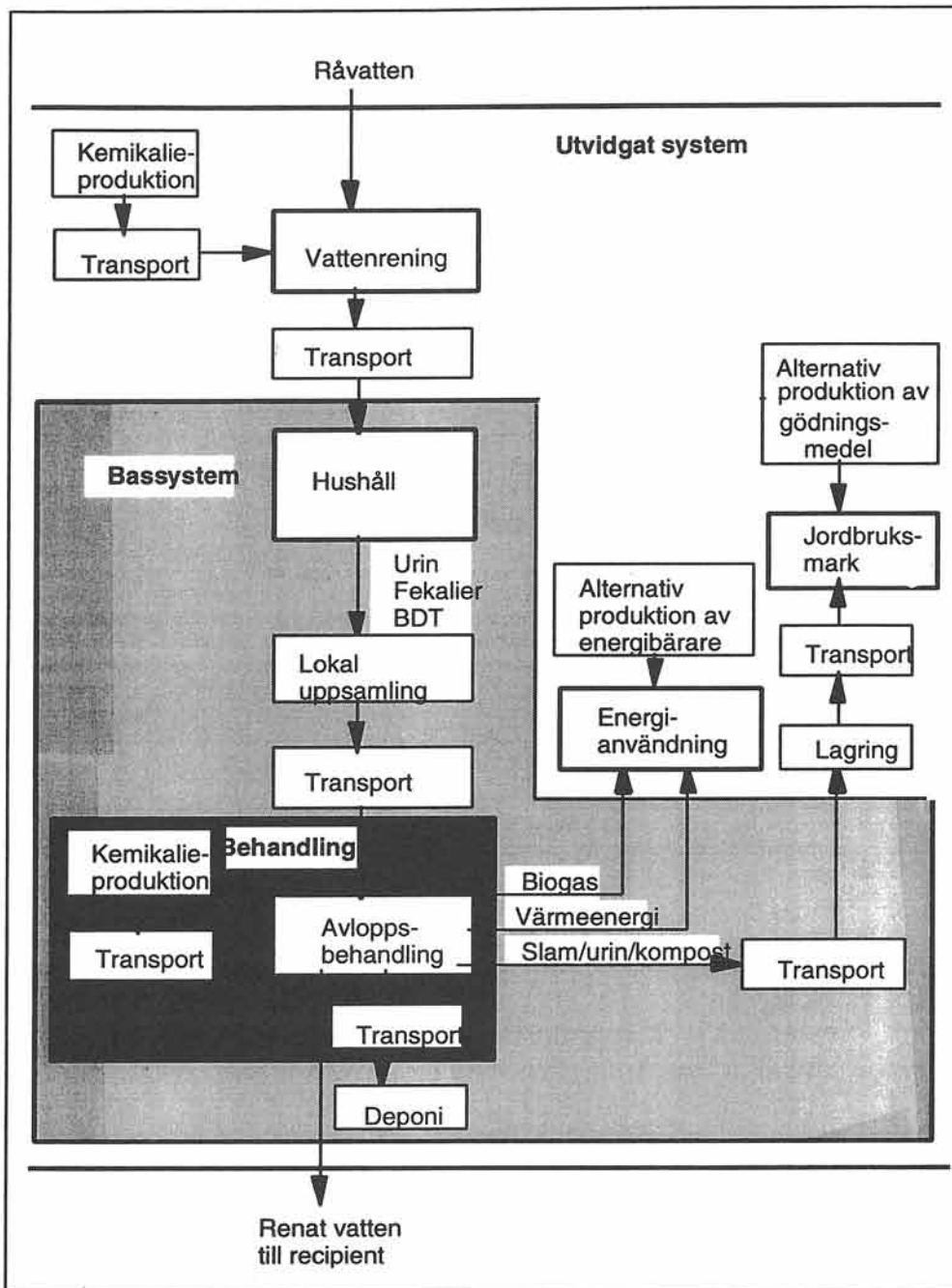
En livscykelanalys i detta fall innebär att se hur stor miljöpåverkan blir av hela avloppssystemet, från vattenproduktion till utsläppspunkten för det renade vattnet och återföring av näringsämnen till jordbruket.

Den fråga som livscykelanalysen skall besvara är:

- Vilka blir konsekvenserna för miljön av att förändra avloppssystemen i Hamburgsund och Bergsjön från de existerande systemen med centraliserad behandling av avloppsvattnet i avloppsreningsverk till mera lokala system, med ökad grad av återföring av växtnäringsämnen till jordbruket?

Ytterligare ett syfte med livscykelanalysen har varit att undersöka hur stor del av miljöpåverkan från ett avloppssystem som är att hänföra till investeringen i systemet jämfört med driften av systemet.

Valet av studieobjekt har möjliggjort en jämförelse mellan storskaliga och småskaliga system Bergsjön och Hamburgsund. De system som studerats i livscykelanalysen, bassystemet och ett utvidgat system, visas schematiskt i *figur 3.1*.



**Figur 3.1** Principiellt flödesschema för hantering av avloppsvatten från hushåll

### **Bassystemet**

Bassystemet omfattar de aktiviteter som direkt kan hänföras till behandlingen av avloppsvattnet samt transporter av avloppsvattnet. Här ingår också tillverkning av komponenter i systemet t ex toalettstolar och avloppsledningar, samt även anläggandet av ledningssystem, filterbäddar etc.

### *Utvidgade systemet*

Det utvidgade systemet omfattar även de omgivande tekniska systemen. I och med att t ex urinseparerande toaletter införs med vakuumpolning av fekaliedelen, kommer vattenförbrukningen att minska vilket i sin tur innebär användning av mindre mängder reningskemikalier. Likaså kommer återföringen av näringsämnen till jordbruket att innebära att motsvarande mängd gödningsmedel (konstgödning) inte behöver tillverkas. Genom energiutvinning i form av värme och biogas som nyttjas lokalt och i fjärrvärmesystem behöver motsvarande mängd energi inte produceras från andra källor.

I det utvidgade systemet tas endast driften av systemet med och ej investeringarna.

### **3.3.2 Avgränsningar**

#### *Funktionell enhet*

Som räknebas har använts den funktionella enheten "omhändertagande av allt avloppsvatten från en person under ett år". Detta innebär att resultaten uttrycks som t ex gram svaveldioxid per person och år.

#### *Tid*

Studiens tidsperspektiv är framåtblickande, dvs den är avsedd att gälla från nu och ett antal tiotal år framåt. Tidsperspektivet beror på ingående komponenters livslängd. Vid beräkningarna har avskrivningstiden dvs den ekonomiska livslängden använts. Den tekniska livslängden kan vara avsevärt längre.

Utbyte av komponenter i systemet antas ske i den takt som är brukligt, dvs när det är dags för renovering. I noll-alternativet och lokalt alternativ beräknas alla delar i systemet bytas ut för att få en rättvis jämförelse med det källseparerade systemet där urinsorterande toaletter installeras.

### **3.3.3 Bassystemet - slutsatser**

De viktigaste slutsatserna som kan dras från studien av bassystemet är att:

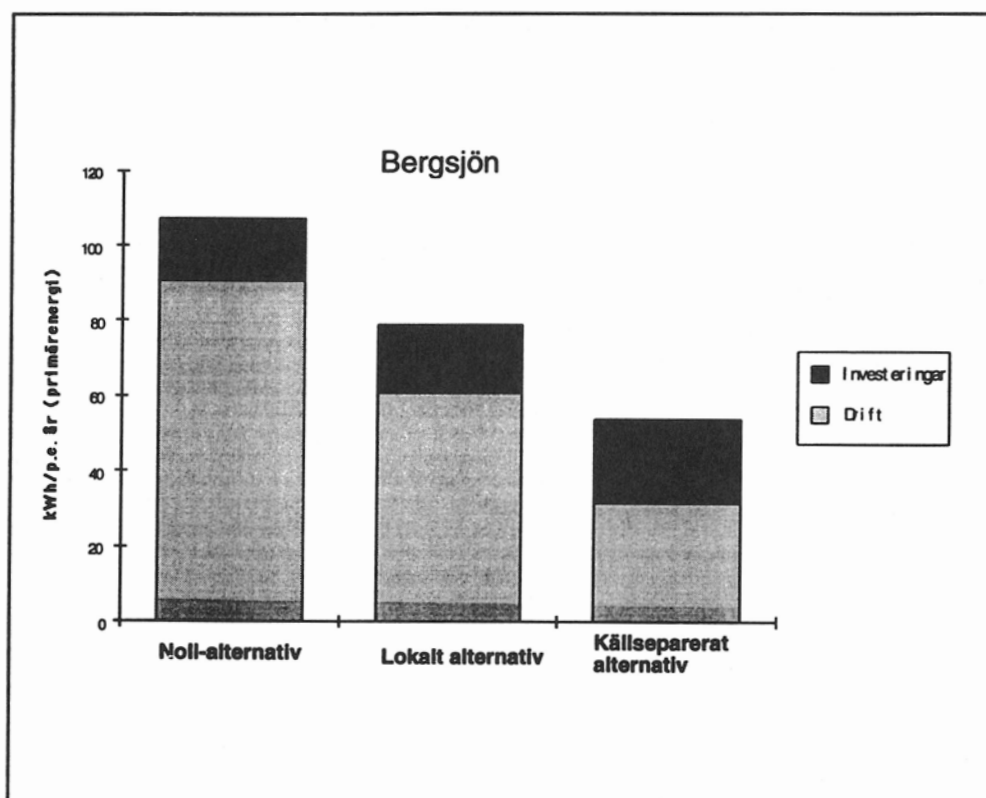
- miljöpåverkan från investeringarna i systemet, dvs från tillverkning och installation av olika delar, är väsentligt lägre i de olika alternativen än miljöpåverkan under driften. Den är dock ej försumbar. I fallet källseparerat alternativ i Hamburgsund härrör nästan hälften av den totala årliga energianvändningen från investeringsdelen.
- skillnaderna mellan Hamburgsund och Bergsjön tyder på betydande miljömässiga skalfördelar för avloppsbehandling, till Bergsjöns fördel

(stordrift), vad gäller energianvändning både för drift och investeringar.

- miljöbelastningen från investeringsdelen i systemen är i hög grad fossilbränslerelaterad. Den är högst för källseparerat alternativ. De delar som står för huvuddelen av belastningen är hushållen genom sanitetsporslin och ledningar inom fastigheten, samt tankar för lokal uppsamling. Genom ökad livslängd, minimering av materialbehov, materialval m m finns här möjligheter att optimera systemet.
- driftenergin utgörs i existerande system främst av elenergi för drift av pumpar och reningsverk. Elbehovet minskar markant från noll-alternativet till källseparerat alternativ, men ersätts delvis av ett fossilbränslebehov för lastbilstransporter.

I *figurerna 3.2, Bergsjön* och *3.3 Hamburgsund* visas det totala energibehovet för bassystemet, uppdelat på drifts -och investeringsenergi. All elenergi och fossil energi har räknats om till primärenergi<sup>7</sup>.

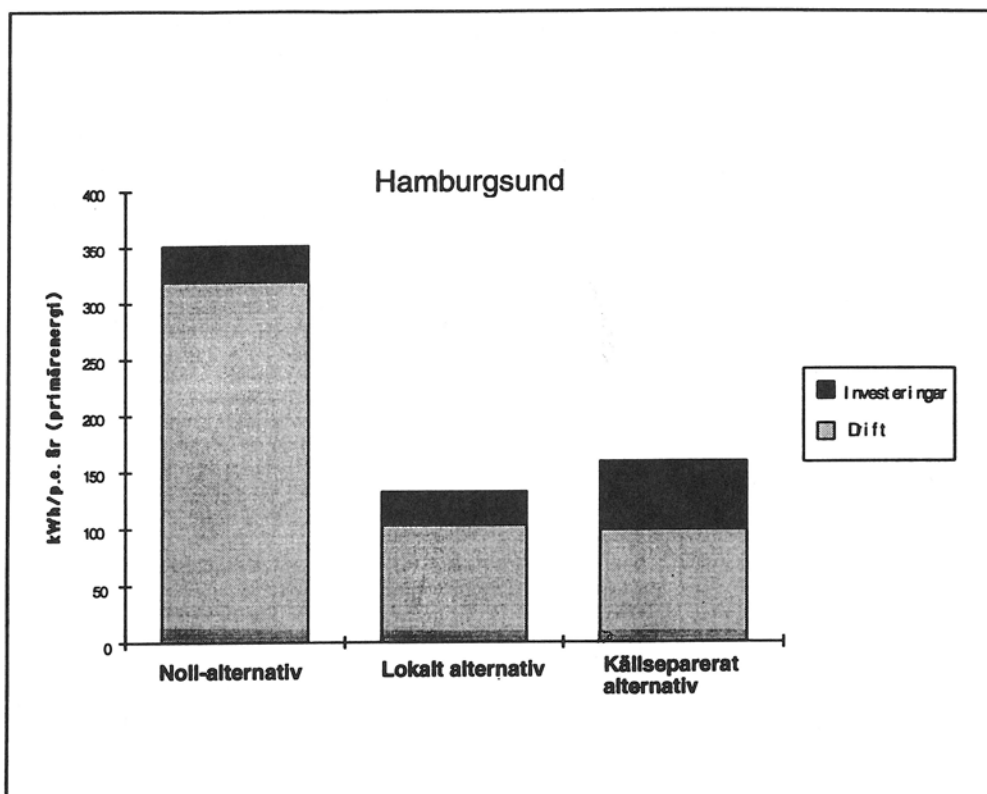
När det gäller Hamburgsund innebär noll-alternativet betydligt större energibehov än de övriga alternativen. Energitillbehovet är lägst för lokalt alternativ.



**Figur 3.2 Bergsjön bassystem - totalt energibehov omräknat till primärenergi. (Hänsyn till återvinning av energi har ej tagits).**

<sup>7</sup> Primärenergi bygger på den genomsnittliga elproduktionsmixen i Sverige. Produktionen av elektricitet är en process med relativt lågt utnyttjandegrad. Därför har totalt behov av primärenergi beräknats med hjälp av energieffektiviteten i genomsnittlig svensk elproduktion vilken är 54 % (Tillman m fl 1996).





**Figur 3.3 Hamburgsund bassystem - totalt energibehov omräknat till primärenergi.**

### 3.3.4 Utvidgat system - slutsatser

Det utvidgade systemet omfattar endast driften av systemet och inte de investeringar som gjorts.

I figur 3.4 är behovet av fossila resurser i de olika alternativen uppdelat på

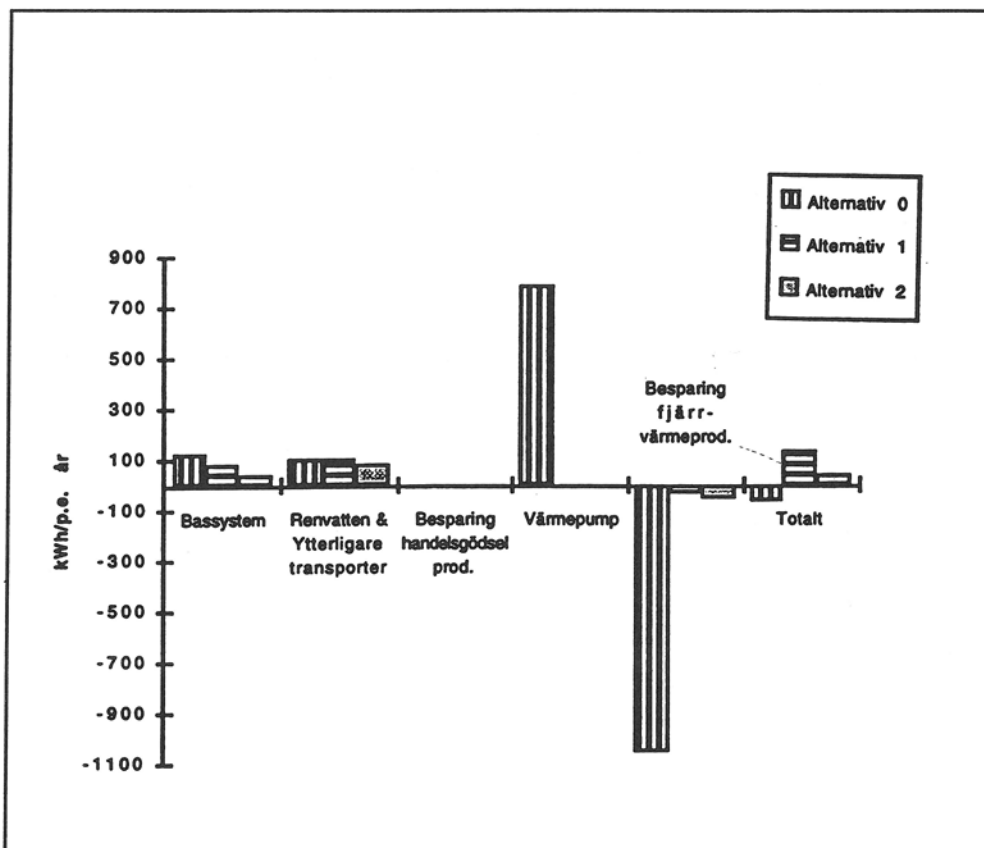
- bassystemet inkl elproduktion “från vaggan”.
- renvattenproduktion och ytterligare erforderliga transporter (som ej ingår i bassystemet).
- sparad användning av handelsgödsel.
- drift av värmepumpar.
- besparing i fjärrvärmeproduktionen.

Elenergi har, i det utvidgade systemet, räknats om till fossil energi enligt ett så kallat baslastmarginaltänkande. Det innebär att elenergin antas ha producerats i danskt kolkondenskraftverk och fossilbränslebaserade (olja, kol, gas) kraftverk i Finland. I bassystemet har även tagits med den energi som åtgår för produktion och förädling av råolja/kol för produktion av el (dvs “från vaggan”).

Återföringen av växtnäringsämnen, som innebär att energi sparas genom att motsvarande mängd handelsgödsel inte tillverkas, ger mycket litet utslag i energianalysen, se *figur 3.4* och *3.5*.

I studien ingår åtskilliga andra parametrar än energi. Energi avspeglar dock ett flertal parametrar som t ex resursförbrukning av olika slag och transporter som ger miljöpåverkan.

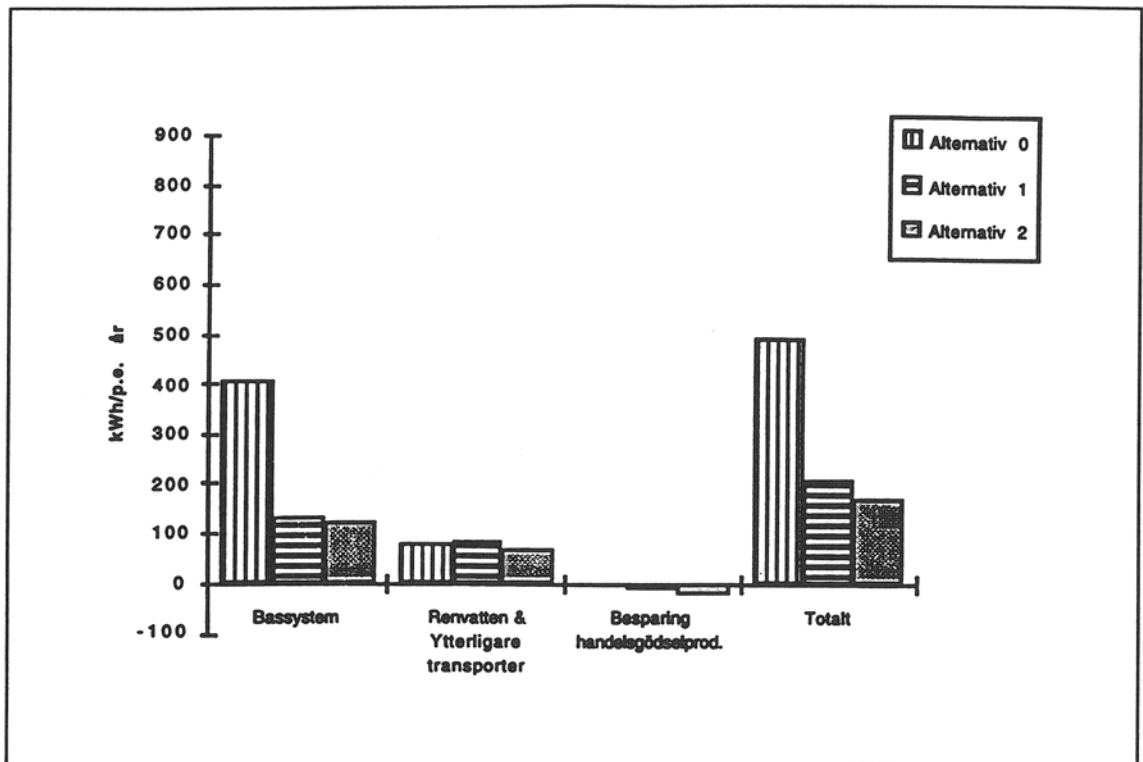
I *figur 3.6* och *3.7* visas ett urval av andra viktiga parametrar i det utvidgade systemet för Bergsjön respektive Hamburgsund.



**Figur 3.4 Bergsjön - utvidgat system, användning av fossila resurser**  
 Alt 0 = nollalternativet, Alt 1 = lokalt alternativ, Alt 2 = källseparerat alternativ

I *figur 3.4* kan man se att det i noll-alternativet krävs en stor mängd energi för att driva värmepumparna, ca 800 kWh/pe,år. Den levererade energin till fjärrvärmenätet (omräknat till fossil energi) motsvarar ca 1000 kWh/pe,år. Det vill säga att "vinsten" blir inte så stor, totalt sett.

Totalt sett ger noll-alternativet ett "överskott" vad gäller energi (negativ stapel i diagrammet). Lokalt alternativ ger störst energibehov följt av källseparerat alternativ.



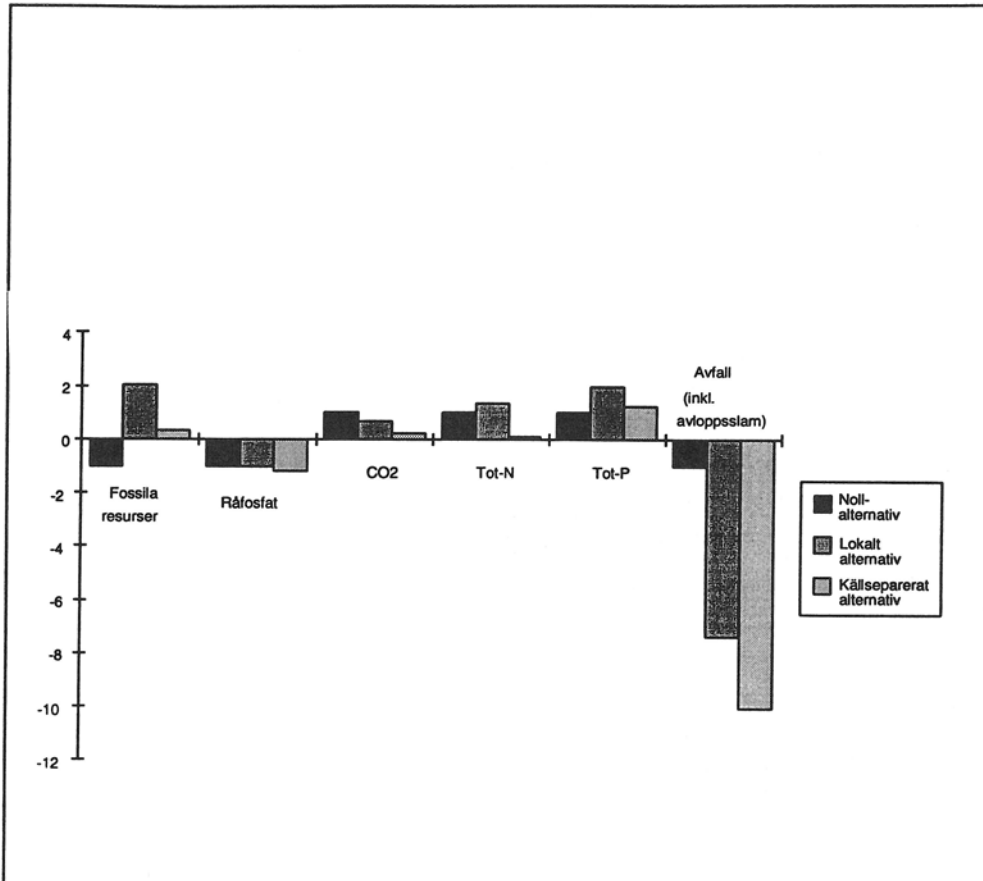
**Figur 3.5 Hamburgsund - utvidgat system, användning av fossila resurser**  
 Alt 0 = nollalternativet, Alt 1 = lokalt alternativ, Alt 2 = källseparerat alternativ

I figur 3.5 är behovet av fossila resurser uppdelat på:

- bassystemet inkl elproduktion räknat "från vaggan".
- renvattenproduktion och ytterligare transporter.
- sparad användning av handelsgödsel.

Man kan se att det totala energibehovet minskar med ökad grad av källseparering. Besparingen man gör i handelsgödsel när man nyttjar slam m m i jordbruket är marginell. Renvattenproduktionen kräver relativt mycket energi jämfört med t ex bassystemet. För renvattenproduktionen åtgår reningskemikalier, som kräver energi vid framställning, och pumpenergi.

Sammanfattningsvis kan man se att noll-alternativet krävde mer än dubbla fossila resursbehovet jämfört med lokalt och källseparerat system.

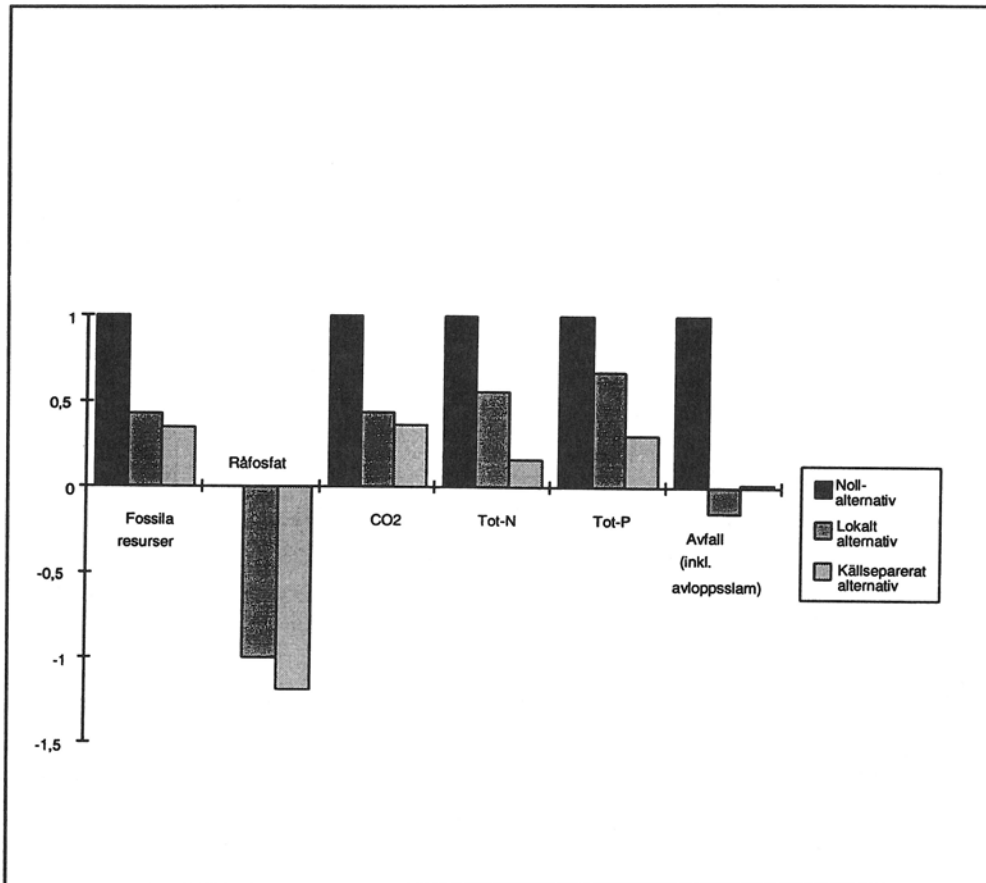


**Figur 3.6 Bergsjön - urval av miljöbelastningsparametrar för det utvidgade systemet. (Absolutvärdet för noll-alternativet har normerats till 1, jämfört med övriga alternativ.)**

Figur 3.6 visar ett urval av några viktiga miljöbelastningsparametrar. I figuren anger "fossila resurser" den totala resursförbrukningen. Användning av "råfosfat" ger negativa staplar i diagrammet vilket betyder att urin, slam m ersätter konstgödsel (baserat på råfosfat). I noll-alternativet går större delen av slammängden till markarbeten där näringen till viss del nyttjas och därmed ersätter konstgödsel.

Utsläppen till luft anges här som "CO<sub>2</sub>". Koldioxidutsläppen härrör från användningen av fossila bränslen. Utsläppen till vatten illustreras av "tot-N" och "tot-P" i diagrammet. Lokalt alternativ ger störst utsläpp av fosfor.

Utsläpp till mark visas i stapeln "Avfall". I avfallsposten ingår avloppsslam som deponeras, fast avfall, aska, rötslam (från tillverkning av reningskemikalier), miljöfarligt avfall och gips. Gipsavfall uppstår vid framställning av fosforgödsel. Gipsavfallet är en stor post i det hela och i och med att besparing av konstgödsel görs uppstår heller inget gipsavfall. I detta fall ger besparing av gipsavfall negativa staplar i diagrammet.



**Figur 3.7 Hamburgsund - urval av miljöbelastningsparametrar för det utvidgade systemet. (Absolutvärdet för noll-alternativet har normerats till 1.)**

I sammanställningen för Hamburgsund, *figur 3.7*, visar noll-alternativet entydigt på störst utsläpp av olika parametrar och störst resursförbrukning. Eftersom inget slam nyttiggörs som gödning visar stapeln för "råfosfat" noll (ingen besparing av konstgödsel). Avfallsmängderna, i nollalternativet domineras av avloppsslammet som transporteras till deponi samt rötslam från tillverkningen av reningskemikalier (aluminiumbaserat).

Källseparerat alternativ ger överlag lägst utsläpp och lägst resursförbrukning.

### 3.4 Naturekonomi

Den naturekonomiska studien har gjorts vid Naturekonomihuset i Stockholm av Sören Bergström, Jim Nilsson och Bo Olin. En rapport är under utarbetande. Naturekonomistudien har inte ingått i ECO-GUIDE-projektet utan varit ett särskilt projekt med eget anslag och egen projektledning. Projektet kallas NAVA (Naturekonomisk Analys av VA-system).

## 4 KOSTNADSJÄMFÖRELSER

En driftsekonomisk kostnadskalkyl för de alternativa avloppslösningarna har tagits fram inom NAVA-projektet.

Tidigare har översiktliga investeringskostnader redovisats i Malmqvist m fl (1995). En driftskostnad för Bergsjöns noll-alternativ hade också tagits fram. Uppgifter som redovisas i denna rapport har hämtats från NAVA-projektet och bygger på information från LCA-studien, Tillman m fl (1996), MKB-studien, Stenberg m fl (1996), delrapport 1 från ECO-GUIDE-projektet, Malmqvist m fl (1995) samt intervjuer med VBB Viak i Stockholm, VA-verket i Göteborg, Ryaverket i Göteborg, Tekniska kontoret i Tanums kommun och i Marks kommun.

Alla kostnader som anges gäller för 1995.

För närmare redovisning av beräkningsunderlag och metodik, se kommande rapport från NAVA-projektet, Naturekonomihuset.

### 4.1 Investeringar

För att beräkna den årliga kapitalkostnaden för de olika alternativen har antagits nedan angivna avskrivningstider på ingående komponenter. Valda avskrivningstider är, för enkelhetens skull, samma som de som angetts som livslängder i LCA-studien i rapport av Tillman m fl (1996).

#### *Avskrivningstider*

Sanitetsutrustning	25 år
Vakuumentrustning	15 år
Ledningar inom fastighet	30 år
Ledningar i mark	50 år
Pumpstationer, byggnad	30 år
Pumpstationer, utrustning	15 år
Slamavskiljare, tankar etc	30 år
Avloppsreningsverk, bassänger	50 år
Avloppsreningsverk, maskinell utr.	15 år

Avloppsreningsverk, ledningar m m	30 år
Multrummoduler	15 år
Slamtorkbäddar	30 år
Filterbäddar	30 år
Grävda dammar, diken	50 år
Energianläggning	5 år (rivs därefter)
Bevattningsanläggning	15 år

Den tekniska livslängden kan vara avsevärt längre för olika anläggningsdelar än vad som angetts ovan. Den ekonomiska livslängden, dvs avskrivningstiden, är dock vanligtvis kortare än vad som angetts ovan.

### *Avskrivningar*

För beräkning av den årliga kapitalkostnaden har man i NAVA-projektet dividerat den totala investeringskostnaden med anläggningens livslängd.

#### **4.1.1 Bergsjön**

Investeringskostnaderna i de olika alternativen omfattar:

***Noll-alternativet:*** Bergsjöns andel (2,5 %) av totala investeringen i Ryaverket inklusive kväverenningssteget, ledningsnät (inom Ryaverket), tunnlar, rötningsanläggning. Installation av 7 500 st nya "vanliga" toalettstolar i Bergsjön. Kostnaden för marklösen ingår.

***Lokalt alternativ:*** installation av 7 500 st vanliga toalettstolar, 160 st slamavskiljare à 20 m<sup>3</sup> i betong, nya ledningsdragningar fram till filterbäddarna, 4 st nya pumpstationer, filterbäddar etc. I kostnaden ingår även del (10 %) i energianläggningen där slam samrötas med biologiskt nedbrytbart hushållsavfall. Kostnaden för marklösen ingår.

#### ***Källseparerat alternativ:***

installation av 7 500 st källsorterande toalettstolar med vattenspolning, 126 st slamavskiljare à 20 m<sup>3</sup> i betong, 160 st glasfibertankar à 8 m<sup>3</sup> för urin, 93 st glasfibertankar à 8 m<sup>3</sup> för fekalieslam, vakuumsystem för fekalietransport, ledningsdragningar till filterbäddarna, pumpstationer, filterbäddar etc. Kostnaden för marklösen ingår. I kostnaden ingår även del (10 %) i energianläggningen där slam samrötas med komposterbart avfall.

I samtliga alternativ har förutsatts att befintliga toalettstolar byts ut när den "tekniska" livslängden uppnåtts. I källseparerat alternativ innebär det att

källsorterande toaletter installeras. I de övriga alternativen installeras "vanliga" toaletter. Ett systemskifte kan tänkas ske under ett antal år genom att olika delar av bebyggelsen successivt kopplas in efter hand, och utbyggnad av filterbäddar sker.

Kostnaderna fördelar sig enligt tabell 4.1.

**Tabell 4.1 Kostnadskalkyl för investeringar – Bergsjön**

		<b>Noll- alternativ</b>	<b>Lokalt alternativ</b>	<b>Källseparerat alternativ</b>
Investering avloppsrening	kkkr	17 700	50 400	61 600
Investeringar i hushåll	kkkr	42 000	42 000	123 300
Rötkammare alt biogasanlägg- ning	kkkr	5 600	200	240
Marklösen	kkkr	( 1 ha) 200	(6,3 ha) 1 260	(6,6 ha) 1 320
<b>Total investe- ringskostnad</b>	kkkr	65 500	94 000	186 400
<b>Årlig kapital- kostnad</b>	kkkr	2 564	3 267	6 993
<b>Årlig kostnad per person</b>	kr	183	233	500

Kapitalkostnaden är störst för källseparerat alternativ och lägst för noll-alternativet.

#### 4.1.2 Hamburgsund

Investeringarna omfattar:

**Noll-alternativet** avloppsreningsverk för 2 500 pe samt utloppsledning till Hamburgsund, installation av 634 st nya vanliga toalettstolar, marklösen, reinvesteringar i ledningsnätet.

**Lokalt alternativ** slamavskiljare (390 m<sup>3</sup>), pumpstation, slamtorkbäddar, filterbäddar, dammar, diken, pumpstation för bevattning, installation av 634 st nya toalettstolar, marklösen för anläggningarna, reinvesteringar i ledningsnätet.

**Källseparerat alternativ** slamavskiljare à 350 m<sup>3</sup>, slamavskiljare 100 st à 2 m<sup>3</sup>,



pumpstationer, installation av 415 st källsorterande toaletter med vattenspolning, 219 st källsorterande toaletter utan vattenspolning, 130 st multrummoduler (för indunstning av fekalier), urintankar 7 st i betong à 27 m<sup>3</sup> samt 230 st i glasfiber à 2 m<sup>3</sup>, fekalietank 7 st i betong à 30 m<sup>3</sup>, vakuumsystem för fekalietransport, slamtorkbädd, filterbäddar, dammar och diken, bevattningsutrustning, marklösen för anläggningarna, reinvesteringar i ledningsnätet.

I *tabell 4.2* visas investeringskostnaderna i Hamburgsund för de olika alternativen.

**Tabell 4.2 Kostnadskalkyl för investeringar – Hamburgsund**

		Noll- alternativ	Lokalt alternativ	Källseparerat alternativ
Investering avloppsrening	kkkr	10 400	6 445	
Investeringar i hushåll	kkkr	3 500	3 500	15 660 (Inkl avloppsre- ning)
Marklösen	kkkr	(0,3 ha) 9	(3,8 ha) 114	(3,8 ha) 114
<b>Total investe- ringskostnad</b>	kkkr	13 909	10 059	15 774
<b>Årlig kapital- kostnad</b>	kkkr	544	344	600
<b>Årlig kapital- kostnad per person</b>	kr	494	313	545

Även i Hamburgsundsfallat är kapitalkostnaden högst i källseparerat alternativ. Lägst kostnad har lokalt alternativ.

## 4.2 Drift

Driftkostnaderna bygger bl a på de uppgifter som tagits fram inom MKB-studien, Stenberg m fl (1996) avseende förbrukningar av olika slag; el, vatten osv. Inom NAVA-projektet har ytterligare uppgifter tagits fram bl a avseende administrationskostnader, arbetskostnader och avgifter.

### 4.2.1 Bergsjön

Driftkostnaderna, som sammanställts i *tabell 4.3* för de olika alternativen,

omfattar i princip följande :

**Noll-alternativet** Förbrukning av vatten, elenergi (renvattenframställning och drift av avloppsverk), trans-porter, reningskemikalier, arbetstid, administration etc.

Som intäkt sätts besparing av energi för uppvärmning av fjärrvärmenätet, el för internt bruk på avloppsreningsverket m m samt besparing vad gäller inköp av handelsgödsel.

**Lokalt alternativ** Förbrukning av vatten, naturgrus, elenergi för renvattenframställning, pumpning m m, transporter av grus, slam och kompost, arbetstid, administration.

Som intäkt sätts besparing av energi i form av biogas (för uppvärmning) samt besparat inköp av handelsgödsel.

**Källseparerat alternativ**

Förbrukning av vatten, naturgrus, elenergi för renvattenframställning, pumpning m m, transporter av grus, BDT-slam, fekalieslam, urin och kompost, arbetstid, administration.

Som intäkt sätts besparing av energi i form av biogas samt besparat inköp av handelsgödsel.

**Tabell 4.3 Kostnadskalkyl för driften, Bergsjön**

		<b>Noll-alternativ</b>	<b>Lokalt alternativ</b>	<b>Källseparerat alternativ</b>
Årlig total driftkostnad	kkkr	7 670	6 707	5 222
Årlig driftkostnad per person	kr	548	479	374

Driftkostnaderna är lägst i källseparerat alternativ och högst för noll-alternativet.

#### **4.2.2 Hamburgsund**

Driftkostnaderna för alternativen i Hamburgsund omfattar följande:

### ***Noll-alternativet***

Avloppsrening: el (pumpning, luftning), reningskemikalier, dieselolja (slamtransporter). El (pumpning på ledningsnätet), renvattenförbrukning, arbetskostnad, administration.

Det förutsätts här att slammet kan nyttjas i jordbruket liksom i lokalt och källseparerat alternativ. Som intäkt i kalkylen sätts därför besparing vid inköp av handelsgödsel.

### ***Lokalt alternativ***

Förbrukning av vatten, transporter av slam och grus, naturgrus, arbetstid, administration.

Som intäkt sätts besparat inköp av handelsgödsel eftersom slammet kan nyttjas som gödning.

### ***Källseparerat alternativ***

Förbrukning av vatten, transporter av slam, fekalier, urin och grus, naturgrus, arbetstid, administration, deponiavgift<sup>8</sup>.

Som intäkt sätts besparat inköp av handelsgödsel eftersom slam, urin och fekalier kan nyttjas som gödning.

***Tabell 4.4 Kostnadskalkyl för driften, Hamburgsund***

		<b>Noll-alternativ</b>	<b>Lokalt alternativ</b>	<b>Källseparerat alternativ</b>
Årlig total driftkostnad	kkkr	586	369	786
Årlig driftkostnad per person	kr	533	335	715

Bakom de höga driftkostnaderna i Hamburgsund ligger främst kostnaderna för tömning och transport av fekalier och urin.

Driftkostnaderna är här högst för källseparerat alternativ och lägst för lokalt alternativ.

### **4.2.3 Jämförelse av kostnader**

I Bergsjön finns totalt 6 400 lägenheter och beräknat antal anslutna personer uppgår till ca 14 000. I Hamburgsund finns 372 lägenheter fördelade på 143 st i hyreshus och 190 st i enfamiljshus och 39 i fritidshus. Antalet anslutna varierar

---

<sup>8</sup> I NAVA-studien har antagits transport av BDT-slam till deponi i enlighet med Malmqvist m fl (1995) och Tillman m fl (1996). I MKB-studien av Stenberg m fl (1996) har dock antagits att allt slam går till jordbruket.

beroende på om det är hög- eller lågsäsong. Som ett medeltal har antagits 1100 anslutna personer.

När man jämför kostnaderna i Bergsjön och Hamburgsund ser man en tydlig skillnad vad gäller noll-alternativen och källseparerade alternativen, se *tabell 4.5 och 4.6*.

I Bergsjön är totala årskostnaden per person för nollalternativet ungefär 30 % lägre än den i Hamburgsund vilket beror på att Ryaverket är en mycket större anläggning och ger därmed en bättre kostnadsbild per capita.

För källseparerat alternativ beror den lägre kostnaden i Bergsjön, jämfört med Hamburgsund, på att det är fler anslutna till varje anläggningsdel som exempelvis slamavskiljare och urintankar. Hamburgsund har fler och mindre enheter eftersom det är förhållandevis fler enfamiljsfastigheter.

Man kan också notera att det lokala alternativet i Hamburgsund ger väsentligt lägre kostnader än konventionell avloppslösning. I Bergsjön är det också den lokala lösningen som totalt ger lägst kostnad. Kostnaden i de olika alternativen i Bergsjön ligger dock i samma storleksordning. I Hamburgsund är skillnaden väsentligt större.

Observeras bör att de kostnader som är gemensamma för de olika alternativen i Bergsjön respektive Hamburgsund ej har tagits med i beräkningarna t ex ledningsnät och pumpstationer som nyttjas i alla systemen.

**Tabell 4.5 Årliga kostnader per person (kapital och drift) i Bergsjön**

		Noll-alternativ	Lokalt alternativ	Källseparerat alternativ
Drift	kr/pe, år	548	479	374
Investeringar	kr/pe, år	183	233	500
<b>Totalt</b>	kr/pe, år	731	712	874

I Bergsjön utgör driftkostnaden i nollalternativet och lokala alternativet 70-75 % av den totala årskostnaden. I det källseparerade alternativet dominerar däremot kapitalkostnaden.

**Tabell 4.6 Årliga kostnader per person (kapital och drift) i Hamburgsund**

		Noll-alternativ	Lokalt alternativ	Källseparerat alternativ
Drift	kr/pe, år	533	335	715
Investeringar	kr/pe, år	494	313	545
<b>Totalt</b>	kr/pe, år	1027	648	1260

I Hamburgsund är driftkostnaden och kapitalkostnaden ungefär lika i alla alternativ dvs 50 % utgörs av driften och 50 % av kapitalkostnaden.

## 5 JÄMFÖRELSER AV VÄRDERINGSMETODERNA

### 5.1 Slutsatser dragna med de tre metoderna

Tre metoder har i projektet använts för att värdera de olika alternativen: Riktninganalys, Miljökonsekvensbeskrivning och Livscykelanalys (Här behandlas inte Naturekonomianalysen, som i skrivande stund inte är klar). Metoderna har mestadels men inte alltid kommit till samma slutsatser. I tabell 5.1 ges en översikt över slutsatserna i form av en rangordning där 1 är mest miljöanpassat och 3 är minst miljöanpassat.

*Tabell 5.1 Rangordning av alternativen I ECO-GUIDE. Rang 1 = bäst, Rang 3 = sämst*

Rangordning	1	2	3
<b>Bergsjön</b>			
Riktninganalys	Källseparering / Befintligt system	Källseparering / Befintligt system	Lokal behandling
MKB	Källseparering	Befintlig / Lokal behandling	Befintlig / Lokal behandling
LCA	Källseparering	Befintligt system	Lokal behandling
<b>Hamburgsund</b>			
Riktninganalys	Källseparering	Lokal behandling	Befintligt system
MKB	Källseparering	Lokal behandling	Befintligt system
LCA	Källseparering	Lokal behandling	Befintligt system

Underlag för och kommentarer till värderingarna finns mer utförligt i de tidigare publicerade rapporterna.

Som framgår av tabellen ger alla tre metoderna samma resultat för Hamburgsund, nämligen att det källsorterande alternativet är mest miljöanpassat, följt av alternativet med lokal behandling och sist det befintliga systemet.

För Bergsjön är bilden mer komplicerad. MKB och LCA-analyserna ger under de förutsättningar som använts att det källseparerande alternativet är mest miljöanpassat. Energiåtervinningen i det befintliga systemet är dock så stor och svårbedömd med en enkel riktninganalys att man lika gärna skulle ha kunnat bedöma det befintliga systemet som mest miljöanpassat.

MKB-analysen kan inte klart skilja mellan alternativen befintligt system och lokalt system. LCA-studien rangordnar definitivt det lokala alternativet som det minst miljövänliga, men har svårigheter att skilja på det källseparerande systemet och det befintliga.

## 5.2 Vad har jämförts?

De tre metoderna har delvis beaktat samma frågeställningar vid jämförelsen, delvis andra. Exempel är att LCA-analysen inte tar hänsyn till ett antal lokala miljöeffekter som omfattas av MKB-studien, som hälsa och säkerhet, inverkan på lokala vattendrag, buller, lukt etc. Inte heller omfattar LCA-analysen markanvändningen i de olika alternativen. Å andra sidan tar MKB-studien inte annat än översiktligt hänsyn till resursförbrukningen på global nivå, till exempel användning av fosfor. Allmänt kan sägas att MKB-studien är ett effektivare verktyg för att bedöma lokal och regional påverkan, medan LCA-analysen tar större hänsyn till globala och regionala effekter och inte ger en bra bild av den lokala påverkan.

LCA-analysen omfattar ett bassystem och ett utvidgat system. Bassystemet inkluderar de aktiviteter som direkt kan hänföras till behandlingen och transporten av avloppsvattnet, medan det utvidgade systemet också omfattar dricksvattenproduktionen och användning av näringsämnen och energi från anläggningarna.

Hur energifrågorna har hanterats har stor inverkan på resultaten. I MKB-studien har visserligen såväl den direkta energiförbrukningen som den återvunna energin beaktats, men på ett tämligen allmänt plan. Dessutom har energislagen el och fossila bränslen räknats lika värda, dvs ingen hänsyn har tagits till energins kvalitet. I LCA-analysen ingår beräkningar av hur elektriciteten har producerats. Om enbart energiaspekterna skulle värderas, skulle rangordningen i tabellen ovan se annorlunda ut, se tabell 5.2.

**Tabell 5.2 Rangordning av alternativen i ECO-GUIDE med hänsyn enbart till energianvändning. Rang 1 = bäst, Rang 3 = sämst**

Rangordning	1	2	3
<b>Bergsjön</b>			
MKB	Källseparering	Lokal behandling	Befintligt system
LCA	Befintligt system	Källseparering	Lokal behandling
<b>Hamburgsund</b>			
MKB	Lokal behandling	Källseparering	Befintligt system
LCA	Källseparering	Lokal behandling	Befintligt system

### 5.3 Tolkning av resultaten

MKB-studien bygger på en uppdelning i Naturens villkor, Människans villkor och Genomförande. Vid den slutliga sammanvägningen har störst vikt lagts vid Naturens villkor. Inom detta område har störst vikt lagts vid a/ eutrofiering (fosfor och kväve till recipient); b/ energianvändning och c/ försurning (SO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> till luften), i denna ordning. Denna viktning bestämdes av den relativa betydelse som avloppssystemet ansågs ha i regionen, dvs hur stor andel av regionens totala utsläpp respektive energianvändning som avloppsanläggningen representerar.

I LCA-studien används ett formellt viktningförfarande med kvantitativa storheter. För Hamburgsund ger denna viktning samma resultat som för de flesta av de ingående parametrarna. För Bergsjön ger de olika parametrarna avvikande resultat från den viktade bedömningen, som inte används för att dra slutsatser. I stället förs ett resonemang som i första hand bygger på inventeringsresultaten, dvs. de fakta som redovisats och använts. Exempel på sådana resonemang är:

- Koldioxidutsläppen är viktigare än användningen av jordens fossila resurser, eftersom det troligen finns mer kol tillgängligt än vad som kan tolereras som koldioxid i luften.
- För ett avloppssystem är utsläppen till vatten viktigare än utsläppen till luft, eftersom skyddandet av vattenrecipienten är den primära uppgiften för ett avloppssystem. Dessutom är avloppssystemets relativa bidrag till förorening av vattenrecipienten större än det relativa bidraget till förorening av luften, jämfört med andra föroreningskällor.

LCA-resultaten har också utvärderats med så kallad dominansanalys, se Tillman et al (1996). Dominansanalysen visar vilka av de studerade variabelerna som har störst betydelse för miljöbedömningarna.



## **6 DISKUSSION**

### **6.1 Om avloppssystemen**

Utvecklingen inom avloppsområdet har genomgått flera olika faser under 1900-talet, där varje fas har präglats av dels de värderingar i samhället som varit rådande, dels den teknik som varit tillgänglig. Under 1990-talet har krav alltmer börjat ställas att hänsyn skall tas till den totala miljöpåverkan vid val av avloppssystem, det vill säga också till global miljöpåverkan och till förbrukning av ändliga resurser. Kraven på hälsa och säkerhet och på skydd av den lokala vattenmiljön kvarstår oförminskade.

Beslut om en avloppsanläggning grundas inte bara på den miljöpåverkan som anläggningen ger upphov till, utan också på anläggningens ekonomi (investeringar och drift), på lokala förutsättningar av olika slag, på juridiska och organisatoriska förutsättningar och mycket annat. Brukarnas medverkan och engagemang spelar en allt större roll. Diskussionen om städernas avloppshantering inlemmas dessutom allt oftare i den större frågan om hur vi människor skall bo och leva för att åstadkomma ett uthålligt samhälle.

Projekt ECO-GUIDE har i första hand analyserat miljöpåverkan från de studerade avloppsanläggningarna. På ett mer översiktligt plan har kostnaderna för de olika alternativen belysts, särskilt i det fristående "Naturekonomiprojektet" som avrapporteras separat. I Naturekonomi-projektets rapport kommer också att ingå ett avsnitt om hänsyn till och medverkan från brukarna.

De slutsatser som ECO-GUIDE-projektet presenterar i denna rapport är alltså huvudsakligen grundade på miljöpåverkan, och det måste åter betonas att detta bara kan utgöra en del av beslutsunderlaget för val och utformning av en avloppsanläggning.

En del omständigheter kring och motiv för vårt val av alternativ och beräknings-sätt kommenteras nedan.

#### **6.1.1 Dagvatten och industriavloppsvatten**

I såväl Bergsjön som i Hamburgsund är avloppsledningarna separerade, dvs det finns inget dagvatten i ledningsnäten. Båda näten läcker dock mycket. I Bergsjön finns endast en del mindre industrier, i Hamburgsund inga industrier. Vi har i våra beräkningar antagit att allt avloppsvatten i de två orterna kommer från hushållen.

Ändå är det de kombinerade ledningarna och tillförseln av dagvatten och industriavloppsvatten till reningsverken som är en av de stora drivkrafterna för att diskutera andra systemval. Industriavloppsvattnets och dagvattnets innehåll av oönskade ämnen hamnar till stor del i slammet, och bidrar i hög grad till det motstånd att använda slammet i jordbruket som finns framförallt hos jordbrukskooperationen. Beräkningar vid några större reningsverk (Stockholm och

Göteborg) pekar på att ungefär hälften av slammets metallinnehåll kommer från hushållen. Den andra hälften torde då komma via dagvatten och industriavloppsvatten. Den s.k. slamöverenskommelsen (Naturvårdsverket 1994) innehåller också rekommendationer om hur industriavloppsvattnet och dagvattnet skall hanteras.

I projektet har gjorts beräkningar av metallflöden från Bergsjön, via Ryaverket. Dessa flöden har beräknats utgående från undersökningar vid Ryaverket om hushållspillvattnets metallinnehåll, och grundas inte på uppmätta halter i avloppsvattnet eller slammet.

Dagvatten- och industriavloppsvattenanslutningar är alltså i sig skäl att diskutera alternativa system. Detta har inte tagits hänsyn till i projektet.

### **6.1.2 All teknik är inte lika utprovad**

De tekniska lösningar som föreslås i de alternativa utformningarna av avloppssystemen är inte alla lika utprovade.

- Öppna filterbäddar finns det goda erfarenheter från sedan upp emot 15 år. Kanske uppåt 1000 anläggningar finns i drift i Sverige, i skilda storlekar, från enfamiljsanläggningar upp till anläggningar med 3000 pe anslutning. Ännu större anläggningar är under uppförande.
- Våtmarker av den typ som föreslås (öppna dammar och slingrande diken) finns det begränsade erfarenheter av i Sverige. Antalet anläggningar växer dock, och erfarenheterna börjar komma. Tidiga erfarenheter från öppna dammar för spillvattenbehandling finns dock.
- Urinseparering finns i åtminstone 68 kommuner i Sverige (Marklund 1996). De flesta installationerna är i mycket liten skala. I några litet större ekobyar finns upp till ett 70-tal hushåll anslutna. Hur urinseparering i hushållen skulle fungera i så stor skala som i Hamburgsund eller Bergsjön vet vi inte. Framförallt är det värt att notera att de flesta hushåll som idag har urinseparerande toaletter har valt detta själva, oftast utgående från miljömedvetenhet och en ekologisk grundsyn.
- För att klara de extra ledningar som behövs i flerfamiljshusen har vi föreslagit vakuumsystem. Detta är en väl känd och utprovad teknik i andra sammanhang (båtar och flygplan, några semesterbyar etc), men inte provad för urinseparerande system. Vi ser dock inga stora problem med vakuumsystemen.
- Transport och lagring av urin har ännu inte funnit sin form. Här behövs utveckling.
- BDT-vattnets behandling är en osäker faktor. Vi har otillräcklig kunskap om hur en filterbädd, eller någon biologisk anläggning över huvud taget, fungerar när endast BDT-vatten tillförs.
- Hur slam sprids och används i jordbruket är känt sedan lång tid. Hur mycket växterna upptar av näringsämnen i slam och urin är frågor som ännu inte är besvarade, men forskning pågår. Detta gäller också för användning av fosforbemängd filtersand. Vi har antagit att den översta delen av filtersanden

behöver tas bort med 5-10 års mellanrum, och att denna sand kan utnyttjas på de lerjordar som omger både Bergsjön och Hamburgsund.

- I projektet har antagits att slam kan samrötas med det fasta hushållsavfallet i s.k. energilimpor. Erfarenheterna från energilimpor i Sverige är begränsade; det finns bara en sådan anläggning i drift utanför Stockholm. Flytande slam har dock inte tillförts denna "limpa" och man har heller inte för avsikt att riva upp densamma efter drifttidens slut. Gasutbytet är dock mycket bra och gasen transporteras i ledningssystem till en fjärrvärmecentral. I Polen har nyligen en anläggning tagits i drift.

### **6.1.3 Optimering av anläggningarna - teknikutveckling**

Vi har gjort en mängd antaganden och förutsättningar som varit rimliga och ingenjörsmässiga när de gjordes. Nya rön, forskningsresultat och erfarenheter från anläggningar framkommer ständigt, detta är ett område där utvecklingen sker snabbt. Vi har också genom den följande utvärderingen, särskilt LCA-analysen, fått nya kunskaper och insikter.

Troligen skulle vi idag inte gjort källseparerat alternativ, det urinseparerande alternativet, lika komplicerat. Det skulle räcka att dela upp hushållsvattnet i två fraktioner: urin samt fekalier/BDT. Vi hade då uppnått ungefär samma syften vad gäller utnyttjande av avloppsvattnet näringsämnen, men behövt bygga färre ledningar och tankar.

Vi skulle också ha försökt dra ihop tankarna för slamavskiljning och urin med kortare ledningssystem, så att färre men större tankar hade behövts. Detta hade haft betydelse för energianvändningen i investeringsfasen, då det visade sig att särskilt tankarna krävde relativt mycket energi vid tillverkningen.

### **6.1.4 Pågående annan forskning**

Sedan ECO-GUIDE-projektet startades 1994 har åtskilliga eko-byar med alternativ utformning anlagts och befolkats, och erfarenheter har vunnits. Flera forskningsprojekt och utvecklingsprojekt pågår i Sverige, om användning av urin i jordbruket, om smittspridning, om lagring av urin m m. Fullskaleprojekt utvärderas. Erfarenheter från ekobyar sammanställs. I Naturvårdsverkets regi genomförs systemstudier av olika avloppssystem i fem kommuner, med metodik utvecklad i ECO-GUIDE-projektet.

Särskilt efterfrågas kunskaper om riskerna för smittspridning. Ett projekt vid Smittskyddsinstitutet behandlar denna fråga, som inte har utretts vidare inom ECO-GUIDE-projektet

### 6.1.5 Organisation och Juridik

De organisatoriska och juridiska problemen har inte studerats inom ramen för detta projekt. Under projektet har dock hithörande frågor kommit upp, särskilt från de kommunala förvaltningarnas sida (Tekniska kontoret/VA-verket, Byggnadskontoret/ Stadsbyggnadskontoret, Miljöförvaltningen).

Frågor som behöver belysas är bland andra:

- Medför förändringar i avloppssystemet också förändringar i organisationen? Ändrat ansvar? Var går gränserna för det kommunala ansvaret, dels formellt (nya va-lagen kan förändra ansvarsbilden), dels i praktiken? Under vilka omständigheter kan det vara lämpligt att bilda gemensamhetsanläggningar? Bör verksamhetsområdet för va ändras?
- Medför ett förändrat va-system förändrade kostnader eller intäkter? Under vilket tidsperspektiv skall man betrakta dessa förändringar? Hur skall redan gjorda investeringar kunna nyttiggöras i ett alternativt avloppssystem för att förhindra kapitalförstöring?
- Ökade eller minskade planmöjligheter? Avloppssystemen ifrågasätts och diskuteras i många kommuner, och åsikterna om "bästa system" går vitt isär. Det är därför särskilt viktigt att inte låsa fast system och planer onödigtvis. En hög grad av flexibilitet är eftersträvarvärd, oavsett val av system. Ett avloppssystem av den typ som vi idag har både möjliggör och försvårar samhällets utveckling. I Tanums kommun har införandet av "torra lösningar" medfört att bebyggelse har kunnat ske i områden där det förut rått byggnadsförbud på grund av olösta va-problem.
- Kommer en övergång till andra avloppssystem att medföra ökade eller minskade arbetsuppgifter för de kommunala förvaltningarna i form av planering, tillståndsgivning, rådgivning, kontroll etc?

### 6.1.6 Generaliseringar

Varje va-anläggning är unik och måste bedömas från de förutsättningar som råder på platsen. Andra orter och andra förutsättningar hade givit andra resultat.

Dock har vi studerat en mindre friliggande ort och ett större förortsområde till en storstad, och har kunnat dra vissa slutsatser som kan vara giltiga också för andra förhållanden. Hit hör

- Skalans betydelse. VA-systemet i Bergsjön är betydligt energisnålare än det i Hamburgsund, oavsett vilket systemalternativ som betraktas. Kostnaderna för anläggningar och drift är också lägre i Bergsjön.
- Energianvändningens betydelse. Återvinningen av energi har stor betydelse för miljöbedömningarna. De stora värmepumparna i Ryaverket ger stora plusvärden för det befintliga systemet. En exergibetraktelse minskar dock

- värmepumparnas betydelse väsentligt.
- Transportarbetet är av stor betydelse särskilt i Hamburgsund där dagens omfattande transporter av slam belastar det befintliga systemet. För både Bergsjön och Hamburgsund kan vi finna avsättning för avloppets näringsämnen i jordbruk relativt nära bostadsområdena. För Bergsjöns del gäller denna gynnsamma omständighet endast så länge det bara är Bergsjön vi betraktar. Om hela Göteborg hade betraktats skulle vi behöva transportera slammet/urinet betydligt längre, vilket hade påverkat miljöbedömningarna.

## 6.2 Om värderingsmetoderna

Miljökonsekvensbeskrivningen och livscykelanalysen kompletterar varandra i studien på så sätt, att MKB ger information om lokala förhållanden som inte berörs av LCA, medan LCA ger mer information om globala effekter. Metoderna ger olika resultat vad gäller energiförbrukningen. Detta beror dels på att de betraktade systemen är olika (bassystem respektive ett utvidgat system), dels på att elektriciteten värderas olika. LCA-analysen måste anses vara mer systematisk och detaljerad än MKB i sitt sätt att beräkna energiförbrukningen.

För att kunna ge rekommendationer för framtida miljöutvärderingar av avloppssystem måste syftet med utvärderingen vara bestämt. Om syftet är att utarbeta en tillståndsansökan, måste enligt lag en MKB göras. Inget hindrar att denna MKB kompletteras med en LCA-studie, som då ger kompletterande och bättre information om globala effekter och om energiförbrukningen.

Om syftet är att fatta strategiska beslut om hur en avloppsanläggning bättre skall utformas för att nå målen om en uthållig utveckling, är troligen LCA ett bättre val just för att energifrågorna och den globala påverkan behandlas på ett bättre sätt. Om, å andra sidan, målet är att förbättra den lokala miljön, är MKB betydligt bättre eftersom den behandlar den lokala miljön på ett mer detaljerat sätt än LCA.

Om syftet är att föreslå förbättringar i ett befintligt system, kan en dominansanalys i en LCA-studie vara ett användbart sätt. Efterhand som LCA-tekniken utvecklas och standardiseras, kommer troligen denna möjlighet att bli mer tillgänglig och inte som nu huvudsakligen ett forskningsredskap.

Rikttningsanalysens resultat har inte sammanställts på ett sådant sätt att ett svar ges direkt på frågan vilket system som är bäst från miljösynpunkt. Skulle man tillämpa samma betraktelsesätt och värderingar som gjorts för MKB-studien, skulle man få ett liknande resultat. De begränsade och preliminära fakta som låg till grund för rikttningsanalysen kan därmed sägas ha varit tillräckliga för att ge en första uppfattning om skillnaderna i miljöpåverkan mellan alternativen i projektet.

## 7 REFERENSER

Andersson Björn, Kärrman Erik, Persson Jesper, 1996. Delfimetoden Panel Evaluation Method (PEM) som värderingsmetod för tekniska åtgärder. VA-teknik, Chalmers Tekniska Högskola, Rapport 1996:2.

Hellström Daniel, Kärrman Erik 1996. Exergy analysis and mass-balances of various sewage systems. Inskickad artikel till tidskriften Water Science and Technology.

Holmberg John, 1992. Resursteoretiska principer för en bärkraftig utveckling. Institutionen för fysisk resursteori, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Holmberg John, 1995. Socio-Ecological Principles and Indicators for Sustainability. Thesis, Institute of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology, Göteborg.

Jönsson Håkan, Olsson Anna, Stenström Thor Axel, Dalhammar Gunnel, 1996. Källsorterad humanurin i kretslopp – Förstudie i tre delar. VA-FORSK Rapport 1996-03.

Malmqvist Per-Arne, Björkman Hans, Stenberg Majlis, Andersson Ann-Carin, Tillman Anne-Marie, Kärrman Erik, 1995. Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet. VA-FORSK Rapport nr 1995-03.

Naturvårdsverket, 1994. Användning av avloppsslam i jordbruket. Utarbetad av Naturvårdsverket, Lantbrukarnas Riksförbund samt Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen. SNV Rapport nr 4418.

Svensson P, 1993. Nordiska erfarenheter av källsorterande avloppssystem. Luleå Tekniska Högskola. Examensarbete, Rapport 1993:117 E.

Stenberg Majlis, Kärrman Erik, Andersson Ann-Carin, 1996. Miljökonsekvensbeskrivning av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för VA-teknik, Rapport 1996:1

Tillander Mats, 1994. Myten om Tanum. Artikel i tidskriften Cirkulation 2/94.

Tillman Anne-Marie, Lundström Henrik, Svingby Mikael, 1996. Livscykelanalys av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet. Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för Teknisk Miljöplanering. Rapport 1996:1.

Tillman Anne-Marie, Lundström Henrik, Svingby Mikael, 1996. Livscykelanalys av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet. Databilaga. Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för Teknisk Miljöplanering. Rapport 1996:1b.

Tillman Anne-Marie, Kärman Erik, Nilsson Jim, 1996. Comparison of Environmental Assessment, Life Cycle Assessment and Sustainable Development Records. FRN, In Print.

Wall Göran, 1992. Exergi och helhetssyn – en tillämpning på Göteborg. Underlagsmaterial 6:92. Översiktsplan för Göteborg. Stadsbyggnadskontoret.

Wolgast Mats, 1993. Rena Vatten. Om tankar i kretslopp. ISBN 91-630-1501-3. Creamon HB.

Wångsell Claes, 1994. LOS, Lokalt omhändertagande av spillvatten, förutsättningen i Göteborg. VA-verket, Göteborg.









## Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

- 1992-01 Hydraulisk analys av vattenledningsnät, *Lennart Andersson*
- 1992-02 Samverkan mellan avloppsnät och reningsverk, *Claes Hernebring*
- 1992-03 Lukt- och smakstörningar i dricksvatten, *Kjell Kihlberg, Roger Sävenhed*
- 1992-04 Artificial Groundwater Recharge – State of the Art, *Cristina Frycklund*
- 1992-05 Analysmetod för kloridoxid, klorit och klorat, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
- 1992-06 Undersökning av förfilter för järn- och manganreduktion vid dricksvattenrening, *Tibor Nemeth, Åke Elgemark*
- 1992-07 Inventering av datorbaserade system för övervakning och styrning inom kommunal teknik, *Bengt Zagerholm*
- 1992-08 Bräddning – Problemets omfattning i svenska tätorter, *Mats Andreasson, Johan Larsson*
- 1992-09 Lokal dagvattenhantering — Erfarenheter från några anläggningar i drift, *Eva Jansson, Bo Lind, Björn Malbert*
- 1992-10 PRISEK Prioritering Samhällskonsekvenser Ekonomi – Ekonomisk modell och systematisk effektrevisning för värdering och prioritering av va-åtgärder, *Bertil Gustafsson, Gilbert Svensson*
- 1992-11 Konditionsstabilitet hos avloppsledningar av betong, *Viveka Lidström*
- 1992-12 Skadefall på nylagda betongledningar, *Ann-Christin Sundahl*
- 1992-13 Konstgjord grundvattenbildning, *Bertil Sundlöf, Lars Kronqvist*
- 1992-14 Trädrötter och ledningar, *Örjan Ståhl*
- 1992-15 Naturliga system för avloppsrening och resursutnyttjande i tempererat klimat, *HB Wittgren, Kenth Hasselgren*
- 1992-16 Vattenboken – En bok för mellanstadiet om vårt svenska vatten, *Accurat Information AB, VAV*
- 1992-17 Vattenboken – Lärarboken, *Accurat Information AB, VAV*
- 1992-18 Utvärdering av VA-FORSK, *Björn Svedinger*
- 1992-19 Hårdgöring av dricksvatten med krita-kolsyra – ett alternativ till kalk-kolsyra, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1993-01 Alternativ va-teknik – Exempelsamling, *Per-Arne Malmqvist, Agneta Samuelsson*
- 1993-02 Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar – Inledande studie, *Lennart Jönsson*
- 1993-03 Algtoxiner i dricksvatten – en undersökning vid två svenska vattenverk samt litteraturstudie, *Heléne Annadotter*
- 1993-04 Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual – MouseNAM, *Lars-Göran Gustafsson*
- 1993-05 Användning av kloridoxid — Reaktorstudier och halter i distributionssystemet vid nio vattenverk, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
- 1993-06 Slamspridning på åkermark, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
- 1993-07 Analys av tillförselgrad till avloppsverk — svårigheter och möjligheter. Tillämpning på tillrinningen till Tivoliverket i Sundsvall, *Claes Hernebring*
- 1993-08 Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Björn Marklund, Rune Olsson, Bengt-Lennart Peterson, Tore Wästlin*
- 1993-09 Franska va-driftentreprenader, *Lise-Lotte Nilsson*
- 1993-10 Generell kravspecifikation för styr- och övervakningssystem, *Bengt Zagerholm*
- 1993-11 Va på entreprenad, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
- 1993-12 Renovering av avloppsledningar. Riktlinjer för dokumentering och kvalitetskontroll, *Björn Borstad, Inge Faldager, Thomas Johansson*
- 1993-13 Simulering av vattenledningsnät med Piccolo — en utvärdering, *Krister Törneke*
- 1993-14 Drömmen om att allt ska förbli som det var — några reflexioner om konkurrens och strategier för förändring inom va-branschen, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
- 1993-15 Kostnader för drift av avloppsreningsverk, *Peter Balmér, Bengt Mattsson*
- 1993-16 Rötkammarers förmåga att bryta ned organiska föreningar i slam, *Hans Ring*
- 1994-01 Va-ledningars kondition, *Peter Stahre, Ann-Christin Sundahl, Viveka Lidström*
- 1994-02 Tillämpning av kvicksilverfri COD-analys inom va-tekniken, *Evy Axén, Gregory M Morrison*
- 1994-03 Drifterfarenheter med biologisk kvävereduktion, *Magnus Emanuelsson*
- 1994-04 Bestämning av nitrat i kommunalt avloppsvatten — en metod lämpad för automatiserad övervakning och kontroll, *Christer Björklund, Bo Karlberg, Maikael Karlsson*
- 1994-05 Vattenförbrukningens dygnsvariation, *Lars Nikell*
- 1994-06 Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling, *Thomas Larm*
- 1994-07 Svavelväteproblem i avloppsledningar — praktiska drifterfarenheter och tillämpbara anvisningar, *Anders Ledskog, Sven-Gunnar Larsson, Bo Göran Lindqvist*
- 1994-08 Konstgjord grundvattenbildning — Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration, *Cristina Frycklund, Gunnar Jacks, Per-Olof Johansson, Kerstin Lekander*
- 1994-09 Desinfektion/oxidation som förbehandling av ytvatten, *Mats Engdahl*
- 1994-10 Kontroll av bräddavlopp, *Bertil Forsberg*
- 1994-11 Dagvattnets sammansättning, *Per-Arne Malmqvist, Gilbert Svensson, Caroline Fjellström*
- 1994-12 Kortbedömning av TV-inspekterade avloppsledningar, *Olle Nilsson, Peter Stahre*
- 1994-13 Utjämningsmagasin. Erfarenheter i svenska avloppsnät, *Rolf Mansfeldt, Mats Andréasson, Bertil Svensson*
- 1994-14 MIKE SHE I Urban Miljö, Tillämpningsexempel Vittskövle, *Stefan Winberg, Lars-Göran Gustafsson, Lars Bengtsson*
- 1994-15 Avskiljare för lätta vätskor och fett, *Fred Nyberg*
- 1994-16 Datorstödd simulering av aktivslamprocessen – Försök vid 5 svenska reningsverk, *Jes la Cour Jansen, Dines Thornberg, Anders Finnson*

## Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

- 1995-01 Ringar på vattnet – VA-verken och Agenda 21, *Anna Helmrot, Gunnel Jonsson, Örjan Eriksson*
- 1995-02 Transport av föroreningar i avloppssystem. Beräkningsmöjligheter med MouseTRAP, *Clæs Hernebring, Cecilia Appelgren*
- 1995-03 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Hans Björkman, Majlis Stenberg, Ann-Carin Andersson, Anne-Marie Tillman, Erik Kärrman*
- 1995-04 Utvärdering av biologisk fosforavskiljning vid Öresundsverket i Helsingborg – Processtekniska och mikrobiologiska aspekter, *Magnus Christensson, Karin Jönsson, Natuschka Lee, Ewa Lie, Per Johansson, Thomas Welander, Kjetill Østgaard*
- 1995-05 Internkontroll vid VA-verk. Arbetsbok för upprättande och genomförande av internkontrollprogram för arbetsmiljön vid va-verk, *Ingvar Borgström, Anders Karlsson*
- 1995-06 Regional VA-samverkan – Potential och principer, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
- 1995-07 Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1995-08 Våtmarksrening vid Landsbro ARV, *Leif Lorentzon, Göran Nilsson, Yvonne Gunnevik, Carl Odelberg, Thomas Svensson*
- 1995-09 Tvättmedel – Effekter på reningsverk och miljö, *Cajsa Wahlberg*
- 1995-10 Utvärdering av VAVs läckagestatistik, *Ann-Christin Sundahl, Åse Hasselkvist*
- 1995-11 Trädrötter och avloppsledningar. En fördjupad undersökning av rotproblem i nya avloppsledningar, *Örjan Stål, Jörgen Rosenlöf*
- 1995-12 Renovering av vattenledningar. Riktlinjer för metodval, dimensionering och utförande, *Thomas Johansson, Per Romdal, Øistein Torgersen*
- 1995-13 Nya kemikalier – En utmaning för kommunala reningsverk. Förstudie, *Björn Frostell, Bengt Hultman, Jonas Röttorp, Peter Solyom*
- 1995-14 CD-ROM inom VA, *Leif W Linde, Gunnar Petersson*
- 1995-15 Kvalitetssäkerhet och leveranssäkerhet i distributionssystem för dricksvatten, *Bengt Zagerholm, Rolf Bergström*
- 1995-16 Försöksrapport från biologisk fosforavskiljning vid Jämshögs reningsverk, Olofströms kommun, *Carl-Johan Legeth*
- 1996-01 Organiskt avfall som växnäringsresurs. Potential och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser, *H B Wittgren*
- 1996-02 Rotinfrängning i avloppsledningar. En undersökning av omfattning och kostnader i Sveriges kommuner, *Örjan Stål*
- 1996-03 Källsorterad humanurin i kretslopp – Förstudie i tre delar, *Håkan Jönsson, Anna Olsson, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar*
- 1996-04 VA sett på nytt sätt – Driftentreprenader i några kommuner, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
- 1996-05 Avrinningsområdesbaserade organisationer som aktiva planeringsaktörer, *Jan-Erik Gustafsson*
- 1996-06 Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät. Metodikmanual, *Ann-Marie Gustafsson, Gilbert Svensson*
- 1996-07 Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden, *Claes Hemebring*
- 1996-08 Rening av avloppsslam från tungmetaller och organiska miljöfarliga ämnen, *Erik Levlin, Lars Westlund, Bengt Hultman*
- 1996-09 Kemikaliers effekter i VA-sammanhang. En datasammanställning, *Ingemar Dellien*
- 1996-10 Syrgas i kombination med luftinblåsning vid pilotförsök med kväverening vid Västerås reningsverk, *Hermann Wiklund, Kjell-Ivar Dahlqvist, Bernt Ericsson*
- 1996-11 Export av svenskt kommunalt VA-kunnande, *Gösta W Fredriksson, Åke Mattsson*
- 1996-12 Litteraturlöslösning för grundvatten i urban miljö på Internet, *Chester Svensson*
- 1996-13 Konkurrensutsättning av VA-verksamheten, *Stig Tunestål*
- 1997-1 Utvärdering av VA-lösningar i ekobyar, *J-E Haglund, B Olofsson*
- 1997-2 Aktivt stöd till fastighetsägare vid nybyggnad av VA-nät, *Roland Strandberg, Mårten Wärnö*
- 1997-3 Dosering av biokultur i en igensatt infiltrationsanläggning – En utvärdering, *Jenny Holmgren*
- 1997-4 Biogasanläggningar i Sverige, *Anna Lindberg*
- 1997-5 VA-försörjning i ny skepnad – Om konkurrens och strukturovandling i Vaxholm, *Ola Mattisson*
- 1997-6 Fosfors växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska, *Kersti Linderholm*
- 1997-7 Dricksvatten och korrosion – En handbok för vattenverken, *Bo Berghult, Ann Elfström Broo, Torsten Hedberg*
- 1997-8 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Sammanfattande slutrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Majlis Stenberg*