

BC-koncentrationer i sjösediment: en jämförelse mellan Kina, Schweiz och Finland.

Ville Sonesson

**Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 727
(15 hp/ECTS credits)**



**Geologiska institutionen
Lunds universitet
2026**

BC-koncentrationer i sjösediment: en jämförelse mellan Kina, Schweiz och Finland.

Kandidatarbete
Ville Sonesson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2026

Innehåll

1	Introduktion	7
2	Metod	7
3	Resultat	7
4	Diskussion	10
5	Slutsats	11
6	Tack.....	11
7	Referenser.....	11

BC-koncentrationer i sjösediment: en jämförelse mellan Kina, Schweiz och Finland.

Ville Sonesson

Sonesson, V., 2026: BC-koncentrationer i sjösediment: en jämförelse mellan Kina, Schweiz och Finland. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 727, 10 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Svart kol (black carbon, BC) är partiklar som bildas vid ofullständig förbränning av biomassa och fossila bränslen, och sprids framför allt genom direkta utsläpp till luft. I naturen stannar BC kvar i århundraden till årtusenden, och har en negativ påverkan på både klimat och hälsa.

I följande litteraturstudie har koncentrationer från sjösediment som sträcker sig ungefär 150 år tillbaka i tiden i Finland, Schweiz och Kina sammanställts. Koncentrationerna har jämförts mellan regionerna och med uppskattade BC utsläpp i varje region. Betydelsen av sjöarnas storlek, djup och höjd över havet för koncentrationer i sjösedimenten har också undersökts.

Resultaten visar lägre koncentrationer än förväntat i sjösediment från Kina, bortsett från en sjö med väldigt höga värden, sannolikt på grund av närliggande antropogena källor. De låga koncentrationerna, trots Kinas stora utsläpp, kan bero på att sjöarna är belägna i Tibet långt från kraftiga utsläppskällor. Detta leder till att majoriteten av det svarta kolet som deponeras i sjöarna har transporterats långt i atmosfären. Koncentrationer i sjösediment från de europeiska sjöarna visar även (i genomsnitt) högre värden än de i Kina, återigen med undantag från en sjö i Kina. Det här kan bero på att sjöarna i Kina är mer avlägsna än de i Europa, och därmed längre bort från urbana miljöer. Dessutom observeras en negativ korrelation mellan BC-koncentration och sjöarnas storlek, maxdjup och altitud.

Nyckelord: Svart kol, BC, koncentrationer, sjösediment, Kina, Schweiz, Finland .

Handledare: Karl Ljung

Ämnesinriktning: Sedimentologi

Ville Sonesson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: ville.sonesson00@gmail.com

BC concentrations in lake sediments: a comparison between China, Switzerland and Finland.

Ville Sonesson

Sonesson, V., 2026: BC concentrations in lake sediments: a comparison between China, Switzerland and Finland. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 727, 10 pp. 15 hp.

Abstract: Black carbon (BC) are particles that are formed during incomplete combustion of biomass and fossil fuels. BC remains in nature for centuries to millennia, has an extensive spread and a negative impact on both climate and health.

In the following literature study, concentrations from lake sediments stretching back approximately 150 years in Finland, Switzerland and China have been compiled. The concentrations were compared between the regions, they were also compared with the regions' estimated emissions, and it has been investigated whether lake area, depth and altitude control concentrations in lake sediments.

The results showed lower than expected concentrations in lake sediments from China, apart from one lake with very high concentrations, likely due to nearby anthropogenic sources. The low concentrations, despite China's large emissions may be due to the remoteness of the lakes, which means that the majority of the black carbon is transported in the atmosphere. Concentrations in lake sediments from the European lakes also show (on average) higher values than those in China, again with the exception of one lake in China. This may be because the lakes in China are more remote than those in Europe, and thus further away from urban environments. In addition, a negative correlation is observed between BC concentration and the lake's size, maximum depth and altitude.

Keywords: Black carbon, BC, concentrations, lake sediments, China, Switzerland, Finland.

Supervisor(s): Karl Ljung

Subject: Sedimentology

Ville Sonesson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: ville.sonesson00@gmail.com

1 Introduktion

Svart kol (black carbon på engelska, förkortas som BC), ofta kallat för sot, bildas vid ofullständig förbränning av biomassa. De dominerande BC-källorna varierar i världen, i Kina är majoriteten av BC-utsläppen från förbränning av kol och biomassa, medan det i Europa är till största del förbrukningen av fossila bränslen (Bond et al., 2013).

BC stannar kvar i naturen väldigt länge, århundranden till årtusenden, som följd av dess polycycliska aromatiska struktur (Glaser et al., 2001). BC sprids som aerosoler i atmosfären, och deponeras genom regn och snö eller direkt på en yta. Partiklarna kan spridas både regionalt och interkontinentalt samt stannar kvar i atmosfären i ungefär en vecka (Bond et al., 2013).

BC-partiklarnas mörka karaktär gör att de absorberar ljusinstrålning väl (Bond et al., 2013). Bland annat ökar BC avsmältningen av havsisen i Arktis, då det vid deposition leder till ökad snösmältning genom minskning av isens albedo (Ramanathan & Carmichael, 2008). Vidare tros det även påverka monsunen fuktighetstillförsel som följd av sotets skymmande effekt, vilket har visats minska evaporationen i Indiska Oceanen (Ramanathan et al., 2005).

BC har också en stark hälsoeffekt och kan det leda till både kardiovaskulära och respiratoriska problem. Då BC-partiklarna är så pass små är det väldigt lätt att andas in, och har en stor inträngningsförmåga i lungorna (Hamilton & Mansfield, 1991; Streets et al., 2001). Partiklarnas storlek, ihop med att de är hydrofobiska, gör partikeln (i sitt tidiga stadie) även till en dålig kondensationskärna och påverkar därmed molnbildningen negativt (Bond et al., 2013).

Mätningar av BC i atmosfären sträcker sig tillbaka några decennier som mest, vilket inte är tillräckligt för att tillförlitligt förstå hur BC påverkar klimat och miljö. Genom att använda rekonstruktioner av BC-deposition i is- och sedimentkärnor (Ruppel et al., 2015) kan man rekonstruera utsläpp och deponering av BC över långa tidsskalor och genom det öka förståelsen för de processer som styr spridningen av BC i miljön. I den här rapporten har BC-koncentrationer i sjösediment sammanställts från Kina, Finland och Schweiz som sträcker sig tillbaka ungefär 150 år. Målet är att kartlägga olika regioners historiska deponeringar och hur dessa är kopplade till utsläpp, samt jämföra de olika regionerna och hitta faktorer som styr koncentrationer i sjösediment.

2 Metod

Rapporten är baserat på en litteraturstudie. Artiklar har sökts upp med hjälp av LUBSearch, Web of Science och Google scholar, där fokus var på att samla in data både från Asien och Europa. Söktermer använda var black carbon och lake sediment och gav 148 resultat på Web of Science. Artiklarna valdes där BC-koncentrationer redovisades ihop med daterad ålder, sträckte sig över en större tidsperiod med bra upplösning samt utav praktiska skäl såsom tillgängligheten av rådata.

Data samlades in från Finland, Schweiz och Kina. Dessa valdes för att samtliga sjöar är avlägsna och är därmed mindre påverkade av direkta punktsläppskällor, vilket då ger en mer representativ bild

av ländernas bakgrunds nivåer. Sjöarna från Kina och Schweiz valdes även för att det fanns direkt tillgängliga rådata i respektive artikel. Men för Finland behövdes koncentrationerna tas ut manuellt från grafer. Det här gjordes med hjälp av online programmet PlotDigitizer (<https://plotdigitizer.com/app>) som fungerar genom att man först definierar x och y axeln, anger dess max- och minvärde, placerar ut punkter och därefter laddar ner koordinaterna som en excel fil. För en av de schweiziska sjöarna (Thun) fanns det tre tillgängliga borrhälsdata: en vid sjöns intag, en vid dess uttag och en i mitten. Den i mitten valdes då majoriteten av de europeiska sjöarna hade sin borrhäls tagen i sin djupaste del. Samtliga koncentrationer antecknades och sammanställdes i Excel. BC-koncentrationerna från de europeiska sjöarna är kvantifierade med metoden CTO-375 (Gustafsson et al., 2001), och koncentrationerna från Kina kvantifierade med hjälp av TOR-IMPROVE-A (Chow et al., 2007; Han et al., 2007). Resultatet presenteras stratigrafiskt, en för Europa och en för Kina, med hjälp av programmet C2 (<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/C2Home.htm>).

3 Resultat

De fem finska sjöarna var Karipääjärvi (KARI), Kuutsjärvi (KUU), Puoltsajärvi (PUO), Saanajärvi (SAA) och Vuoskojärvi (VUO). Sjöarna ligger i norra Finland (se figur 1) och är avlägsna från direkta antropogena BC-källor (Ruppel et al., 2015). De schweiziska sjöarna (se figur 2) är Thun (THU), Engstlen (ENG), Stein (STE) och Oberaar (OBE). Steins, Oberaars och Engstlens potentiella lokala antropogena BC-källor kan vara från militära aktiviteter. Sjön Thun är belägen mellan städerna Thun till väst och Interlaken till öst, med potentiella BC-källor från antropogena aktiviteter som bilar, eldning och industrier (Bogdal et al., 2011). De sex kinesiska sjöarna är Qiangyong Co (QIA), Ranwu (RAN), Lingge Co (LIN), Tanglha (TAN), Gokyo (GOK) och Gosainkunda (GOS). Samtliga sjöar är avlägsna och ligger inom Himalaya-tibetplatån (se figur 3), där QIA, RAN, LIN och TAN ligger på den tibetiska platån, medan GOK och GOS ligger i den södra delen av HTP vid Himalaya/Nepal (Neupane et al., 2019).

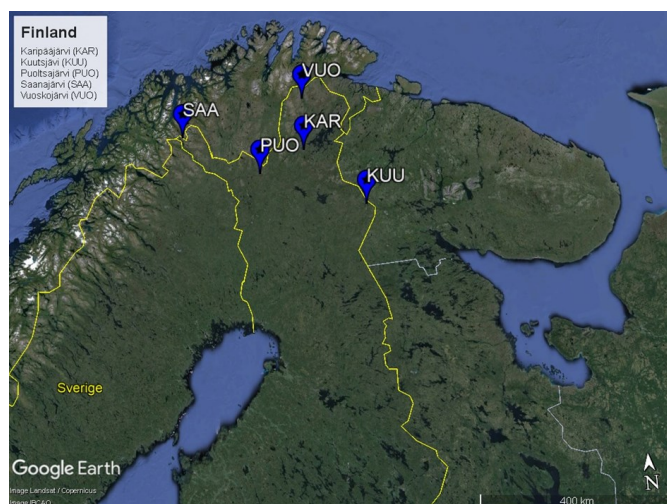


Fig. 1. Lokalisering av sjöar i Finland som är inkluderade i studien. Satellitbild taget från Google Earth Pro version 7.3.6.9796. Hämtad den 15 maj 2024.

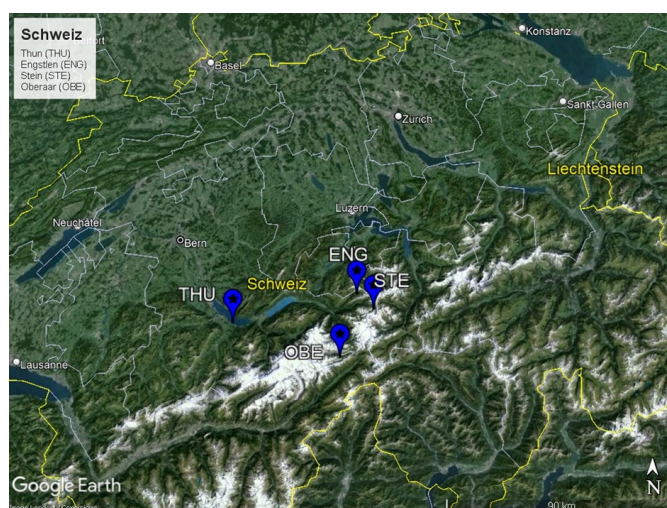


Fig. 2. Lokalisering av sjöar i Schweiz som är inkluderade i studien. Satellitbild taget från Google Earth Pro version 7.3.6.9796. Hämtad den 15 maj 2024.

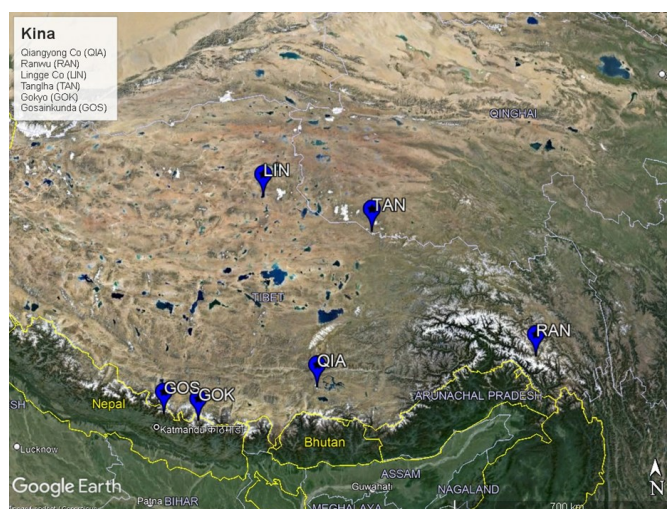


Fig. 3. Lokalisering av sjöar i Kina som är inkluderade i studien. Satellitbild taget från Google Earth Pro version 7.3.6.9796. Hämtad den 15 maj 2024

I graferna (se figur 4 och 5) redovisas BC-koncentrationer i europeiska och kinesiska sjöar framtaget med hjälp av borrhärlor som sträcker sig tillbaka de senaste ca 150 åren, samt ländernas uppskattade BC-utsläpp från 1960 till 2017. Det ska noteras att skalorna varierar i storlek.

Mellan ungefär 1850 och 1930 ser vi ganska låga BC-koncentrationer i de kinesiska sjöarna (se figur 4), förutom i sjön GOS som uppvisar mycket högre koncentrationer än de resterande. Den lägsta BC-koncentrationen i GOS är 9,06 mg/g, jämfört med de resterande sjöarna vars lägsta koncentrationer ligger mellan 0,06 och 1,54 mg/g. Efter 1930 ser vi en allmänt kontinuerlig ökning av koncentrationerna i de flesta sjöarna ända fram till 2010. Däremot fluktuerar BC-koncentrationerna i sjön TAN mellan ca 0,8 och 1,0 mg/g fram till 1983 där det sker en skarp ökning till 1,27 mg/g år 2011. BC-koncentrationerna i sjön RAN visar en ökning efter 1935 likt de andra, men visar även en ökning mellan 1883 och 1903 som sedan minskar fram till 1935. BC-koncentrationerna hos sjön QIA visar en generell ökning, men har en skarp minskning år 1996 som sedan skarpt ökar fram till 2010. I samtliga BC-koncentrationer ser vi fluktuationer där LIN uppvisar minst.

Uppskattade BC-utsläpp i Kina från år 1960 fram till 2017 (figur 4, CHN). Koncentrationerna ökar från 1960, och vid år 1992 sker det en skarp ökning upp till sitt högsta värde på 2608 Gg/år (1995) som sedan

minskas kraftigt fram till 2001. Därefter sker en mer långsam minskning fram till det lägsta värdet på 1229 Gg/år år 2017.

I de europeiska sjöarna ligger BC-koncentrationerna mellan ungefär 0,28 och 4,01 mg/g (se figur 5). I de flesta sjöarna ser vi en generell minskning i koncentration in mot 80/90 talet, där sjöarna KAR, STE och PUO ej följer samma trend. Hos sjön KAR ser vi en konstant ökning i BC-koncentrationer från 1900 till 2010. BC-koncentrationer hos sjön STE har ingen tydlig trend och fluktuerar mellan ungefär 1,40 och 2,70 mg/g. Hos PUO ökar BC-koncentrationen fram till 1990, som därefter minskar fram till 2010. BC-koncentrationer hos sjön THU ökar generellt från år 1960 fram till sitt maxvärde på 1,40 mg/g år 1979, därefter minskar det till 1,0 mg/g år 1983.

FIN och CHE visar uppskattningar av BC-utsläpp i Finland respektive Schweiz och sträcker sig från 1960 till 2017 (se figur 5). CHE visar en minskande trend från 1960 till 2017, med ett maxvärde på 7,80 Gg/år år 1963 och lägsta värde på 3,02 Gg/år år 2014. FIN visar en ökning från 1960 till ca 1980, som därefter minskar fram till 2017, med ett maxvärde på 9,68/år Gg år 1990 och lägsta värde på 5,17 Gg/år år 1960. OBE har bara några få mätpunkter (0,3 mg/g och 0,2 mg/g), men halterna passar med vad som kan ses i resterande sjöar.

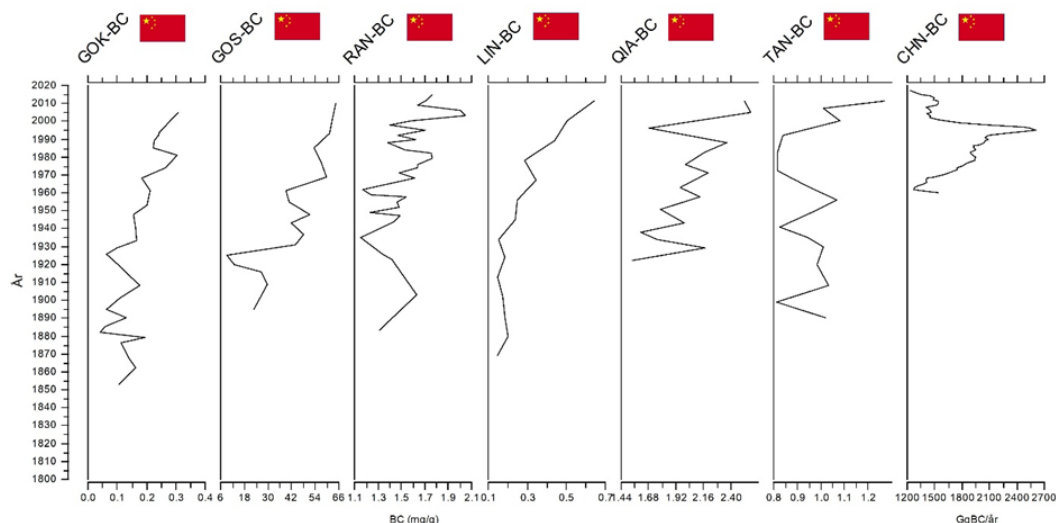


Fig. 4. BC-koncentrationer i sjösediment från sjöar i Kina. CHN-BC visar uppskattade BC-utsläpp i Kina från 1960 till 2017. Notera att skalorna varierar.

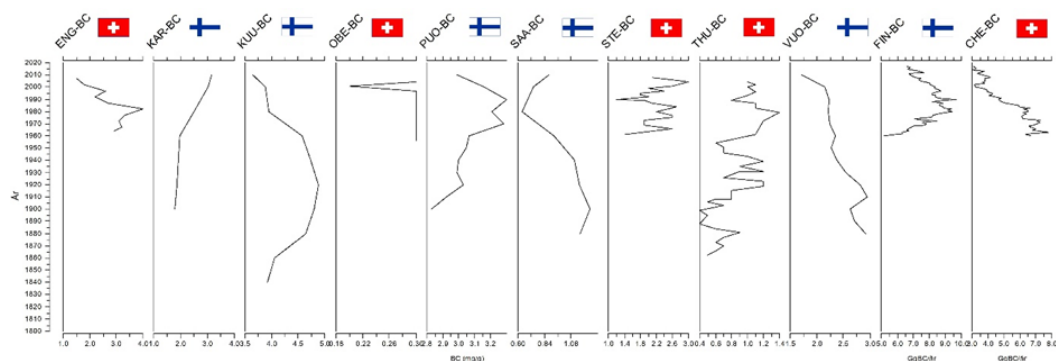


Fig. 5. BC-koncentrationer i sjösediment från sjöar i Schweiz och Finland. CHE-BC och FIN-BC visar

I figurer 6, 7 och 8 har medelvärdet av koncentrationerna i de fyra översta sekvenserna använts för varje sjö, medelvärdena redovisas som punktdiagram med utsatt trendlinje. Det bör noteras att i figur 6 exkluderades sjön GOS på grund av dess höga BC-koncentrationer. I figur 7 exkluderades alla de kinesiska sjöarna då inget maxdjup kunde hittas. I figur 8 är X-axeln logaritmisk på grund av de stora areorna. Sjön GOS exkluderades på grund av dess höga koncentration.

I figur 6 ser vi en negativ korrelation mellan BC-koncentrationer och sjöns höjd över havet i meter där koncentrationer minskar med ökad höjd ($R^2 = 0,2556$). Den högsta koncentrationen ligger på 4,01 mg/g vid 341 m, och lägsta ligger på 0,25 mg/g vid höjden 4750 m. I figur 7 ser vi också en negativ korrelation mellan BC-koncentrationer och sjöns maxdjup ($R^2 = 0,3226$), med ett maxvärde på 4,01 mg/g vid djupet 8,6 m, och lägsta värde på 0,28 mg/g vid djupet 90,0 m. I figur 8 ser vi en tydlig negativ korrelation mellan BC-koncentrationer och sjöns area ($R^2 = 0,4011$), med ett maxvärde på 4,01 mg/g med en sjöarea på 6700 m² och lägsta värde på 0,25 mg/g med en sjöarea på 429 000 m².

4 Diskussion

Vid kvantifieringen av BC-koncentrationer i sedimentproverna för sjöarna i Schweiz (THU, ENG, OBE och STE) och Finland (KAR, PUO, KUU, SAA och VUO) användes metoden chemothermal oxidation vid 375 °C, förkortat CTO-375 (Bogdal et al., 2011; Ruppel et al., 2015), och för sjöarna i Kina användes TOR IMPROV-A (Neupane et al., 2019). Det har visats att användandet av TOR ger högre BC-värden än CTO-375 eftersom TOR mäter ett större kontinuum av fraktioner än CTO, som då mestadels mäter sot, vilket är den fraktion som överlever de höga temperaturen som används (Zhan et al., 2013).

Initialt hade man förväntat sig högre värden i de kinesiska sjöarna baserat på de högre utsläpp som Kina har (Xu et al., 2021), men bortsett från extremfallet med GOS så ser man generellt högre koncentrationer hos sjöarna tagna i Europa. Det här är troligen ej på grund av metoderna använda, då CTO-375 har visats ge lägre värden än TOR (Han et al., 2011; Zhan et al., 2013), utan det är snarare på grund av att de kinesiska sjöarna är väldigt avlägsna med gles befolkning, vilket innebär att större delen av det svartkolet har transporterats i atmosfären som sot (Neupane et al., 2019). En annan faktor kan vara att de sjöarna tagna från Kina är på allmänt högre altitud med ett medelvärde på 4186 m.ö.h., kontra 936 m.ö.h. hos sjöarna tagna från Europa. Enligt figur 4 finns det, i alla fall baserat på de data som använts, en negativ korrelation mellan BC-koncentrationer och sjöns altitud.

Att GOS uppvisar högsta koncentrationer kan bero på ett antal faktorer. Trots att sjön är avlägsen finns det ändå direkta påverkningar från mänskliga aktiviteter såsom genom närliggande borrhning (Neupane et al., 2019). En annan faktor kan vara det Nordindiska slättlandet som GOS och GOK ligger nära, vilket anses vara ett av världens mest förorenade område (Lawrence & Lelieveld, 2010), och som har observerats kunna sprida stora mängder svartkol direkt till Himalaya (Bonasoni et al., 2008).

BC-koncentrationer hos sjöarnas sediment i Finland har inte en tydlig koppling till landets uppskattade BC-utsläpp, förutom att det generellt kan ses en minskning in mot 90-talet. Det här kan återigen vara på grund av sjöarnas avlägsenhet och därmed låga antropogena påverkan (Ruppel et al., 2015), som då likt sjöarna från Kina troligen får majoriteten av svartkolen från atmosfärens cirkulation och då inte kan ses som en direkt reflektion av de lokala utsläppen. För KUU, KAR och PUO kommer det enligt Ruppel et al., förmodligen från söder. För SAA, som har ett annat mönster på sin lufttransport, anses den vara mer söderut och mer sydväst än för de resterande, det vill säga från ett längre bort ursprung (Ruppel et al., 2013).

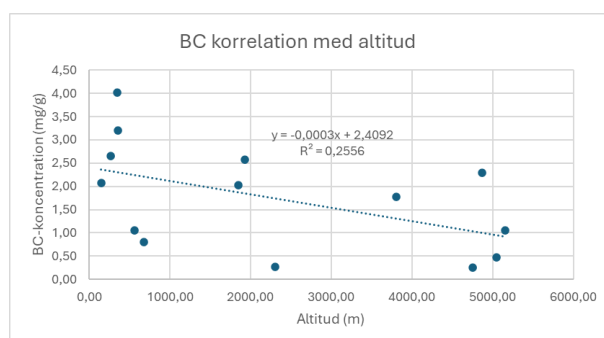


Fig. 6. Punktdiagram som visar korrelationen mellan BC-koncentration och sjöns altitud. Sjön GOS exkluderades på grund av dess höga BC-koncentrationer.

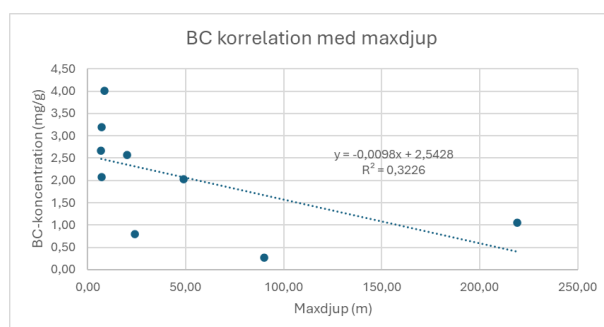


Fig. 7. Punktdiagram som visar korrelationen mellan BC-koncentration och sjöns maxdjup. Alla sjöar från Kina har exkluderats på grund av att dessa saknade publicerade maxdjup.

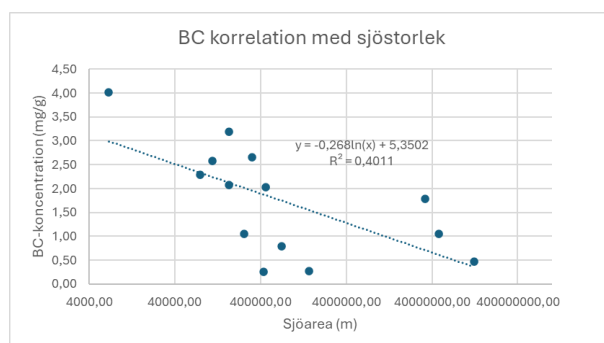


Fig. 8. Punktdiagram som visar korrelationen mellan BC-koncentration och sjöstorlek. Sjöarnas area presenteras logaritmisk på grund av den stora spridningen i sjöarnas storlekar. GOS har exkluderats på grund av höga koncentrationer.

Hos de schweiziska sjöarna hade sjön OBE låg upplösning med bara ett värde vilket var 0,3 mg/g, bortsett från 2001 då den uppvisade 0,2 mg/g. Sjön ENG liknar Schweiz uppskattade utsläpp relativt bra då den uppvisar en minskande trend från 1960-talet och framåt. Likt resterande sjöar är dessa också avlägsna vilket innebär att största delen av svartkolsdepositionen är i form av sot, vilket återigen gör att valet av metod (CTO-375) inte borde förskjutit koncentrationerna mycket (Zhan et al., 2013).

Trots att alla de undersökta sjöarna kan anses som avlägsna för respektive land, är avståndet från urbana miljöer klart mycket större för de mest avlägsna sjöar i Kina än i Finland och Schweiz. Det bör också nämnas att trots Kinas stora uppskattade utsläpp är utsläppet per capita ungefär densamma som för Finland under år 2017, där Finlands till och med var lite större. Genom att dividera de uppskattade BC-utsläppen från år 2017 med landets befolkning vid det året hade Kina 880 g BC per capita, och Finland 1194,21 g per capita.

Korrelationen mellan koncentration och maxdjup, sjöstorlek och altitud är negativt korrelerade (se figur 6, 7 och 8), där alla korrelationer visade sig vara statistiskt signifikanta med ett p-värde på under 0,05. Det bör dock åter nämnas att i figur 7 inkluderas inte någon av de kinesiska sjöarna på grund av saknade publicerade maxdjup, och i figur 6 och 8 har GOS exkluderats på grund av dess höga värden. Med det här i åtanke är resultaten ändå logiska. Med ökad altitud kan man förvänta sig lägre BC-koncentrationer eftersom större partiklar deponeras närmare utsläppskällan och det till största delen är små sotpartiklar, som på grund av dess mindre partikelstorlek kan spridas långt (Bogdal et al., 2011). Med ökad altitud kan man också förvänta sig glesare befolkning, och därmed mindre antal lokala antropogena BC-källor. Att det sker en minskning med ökad sjöstorlek kan bero på att större sjöar oftast har ökad vattenomsättning, och anledningen till att det sker en minskning med ökad maxdjup kan förklaras med att sjöars maxdjup generellt ökar ihop med dess storlek.

Slutligen kan man också diskutera ifall valet av att enbart använda sig av Finlands och Schweiz uppskattade utsläpp var tillräckligt. Som nämnts innan är de flesta av sjöarna avlägsna, vilket innebär att sot spelar en större roll i BC-koncentrationerna, vilket potentiellt kan ha ett ursprung långt bort. Därför hade det varit mer relevant att utöver Finland och Schweiz även inkludera Europas uppskattade utsläpp, men på grund av tidsbrist hann det här inte tas med.

5 Slutsats

Sjöarna i Kina visar i genomsnitt lägre koncentrationer än de i Europa, bortsett från en sjö i Kina som visar betydligt högre värden. Att sjösediment från sjöar i Kina har lägre än förväntade BC-koncentrationer än de i Europa (utöver GOS), trots Kinas höga uppskattade BC-utsläpp, kan bero på ett antal faktorer. De lägre koncentrationerna i de kinesiska sjöarna är troligen inte på grund av att olika metoder för att kvantifiera BC har använts, utan det är snarare på grund av faktorer som att sjöarna i Kina är mer avlägsna än de i Finland och Schweiz, och är således längre bort från antropogena BC-källor. Vidare kan det också bero att sjöarna i Kina är på allmänt högre altitud, som i den

här rapporten har visats ge lägre koncentrationer baserat på använd data. Slutligen visar den sammanställda data en negativ korrelation mellan BC-koncentration och sjöns area, maxdjup samt altitud. Det här pekar på att sjöars karaktär och läge påverkar koncentrationer, och bör tas i hänsyn vid jämförelser av länders/regioners BC-koncentrationer.

6 Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Karl Ljung för den stöd och vägledning du har gett mig under arbetets gång. Tack vare dig, Karl, har jag blivit introducerat till ett ämne som jag bara för några månader sen aldrig hade hört talas om, ett ämne som jag nu är djupt investerad i. Jag är ytterst tacksam för all tid och energi du har lagt ner för att hjälpa mig genom hela processen, tacksam för alla diskussioner vi har haft och för all värdefull feedback. Tack!

7 Referenser

- Bogdal, C., Bucheli, T. D., Agarwal, T., Anselmetti, F. S., Blum, F., Hungerbühler, K., Kohler, M., Schmid, P., Scheringer, M., & Sobek, A. (2011). Contrasting temporal trends and relationships of total organic carbon, black carbon, and polycyclic aromatic hydrocarbons in rural low-altitude and remote high-altitude lakes. *J Environ Monit*, 13(5), 1316-1326. <https://doi.org/10.1039/c0em00655f>
- Bonasoni, P., Laj, P., Angelini, F., Arduini, J., Bonafè, U., Calzolari, F., Cristofanelli, P., Decesari, S., Facchini, M. C., Fuzzi, S., Gobbi, G. P., Maione, M., Marinoni, A., Petzold, A., Roccatto, F., Roger, J. C., Sellegri, K., Sprenger, M., Venzac, H., . . . Vuillermoz, E. (2008). The ABC-Pyramid Atmospheric Research Observatory in Himalaya for aerosol, ozone and halocarbon measurements. *Sci Total Environ*, 391(2-3), 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.10.024>
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., . . . Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- Chow, J. C., Watson, J. G., Chen, L. W., Chang, M. C., Robinson, N. F., Trimble, D., & Kohl, S. (2007). The IMPROVE_A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: maintaining consistency with a long-term database. *J Air Waste Manag Assoc*, 57(9), 1014-1023. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.9.1014>
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., & Zech, W. (2001). The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid

- tropics. *Naturwissenschaften*, 88(1), 37-41. <https://doi.org/10.1007/s001140000193>
- Gustafsson, Ö., Bucheli, T. D., Kukulska, Z., Andersson, M., Largeau, C., Rouzaud, J. N., Reddy, C. M., & Eglinton, T. I. (2001). Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 881-890.
- Hamilton, R. S., & Mansfield, T. A. (1991). Airborne particulate elemental carbon: its sources, transport and contribution to dark smoke and soiling. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25(3-4), 715-723.
- Han, Y., Cao, J., Chow, J. C., Watson, J. G., An, Z., Jin, Z., Fung, K., & Liu, S. (2007). Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC. *Chemosphere*, 69(4), 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.024>
- Han, Y. M., Cao, J. J., Yan, B. Z., Kenna, T. C., Jin, Z. D., Cheng, Y., Chow, J. C., & An, Z. S. (2011). Comparison of elemental carbon in lake sediments measured by three different methods and 150-year pollution history in Eastern China. *Environ Sci Technol*, 45(12), 5287-5293. <https://doi.org/10.1021/es103518c>
- Lawrence, M. G., & Lelieveld, J. (2010). Atmospheric pollutant outflow from southern Asia: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(22), 11017-11096. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11017-2010>
- Neupane, B., Kang, S., Chen, P., Zhang, Y., Ram, K., Rupakheti, D., Tripathi, L., Sharma, C. M., Cong, Z., Li, C., Hou, J., Xu, M., & Thapa, P. (2019). Historical Black Carbon Reconstruction from the Lake Sediments of the Himalayan-Tibetan Plateau. *Environ Sci Technol*, 53(10), 5641-5651. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07025>
- Ramanathan, V., & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature geoscience*, 1(4), 221-227.
- Ramanathan, V., Chung, C., Kim, D., Bettge, T., Buja, L., Kiehl, J. T., Washington, W. M., Fu, Q., Sikka, D. R., & Wild, M. (2005). Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(15), 5326-5333.
- Ruppel, M., Lund, M. T., Grythe, H., Rose, N. L., Weckström, J., & Korhola, A. (2013). Comparison of Spheroidal Carbonaceous Particle Data with Modelled Atmospheric Black Carbon Concentration and Deposition and Air Mass Sources in Northern Europe, 1850–2010. *Advances in Meteorology*, 2013, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2013/393926>
- Ruppel, M. M., Gustafsson, O., Rose, N. L., Pesonen, A., Yang, H., Weckström, J., Palonen, V., Oinonen, M. J., & Korhola, A. (2015). Spatial and Temporal Patterns in Black Carbon Deposition to Dated Fennoscandian Arctic Lake Sediments from 1830 to 2010. *Environ Sci Technol*, 49(24), 13954-13963. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01779>
- Streets, D. G., Gupta, S., Waldhoff, S. T., Wang, M. Q., Bond, T. C., & Yiyun, B. (2001). Black carbon emissions in China. *Atmospheric Environment*, 35(25), 4281-4296.
- Xu, H., Ren, Y., Zhang, W., Meng, W., Yun, X., Yu, X., Li, J., Zhang, Y., Shen, G., Ma, J., Li, B., Cheng, H., Wang, X., Wan, Y., & Tao, S. (2021). Updated Global Black Carbon Emissions from 1960 to 2017: Improvements, Trends, and Drivers. *Environ Sci Technol*, 55(12), 7869-7879. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03117>
- Yao, T., Li, Z., Yang, W., Guo, X., Zhu, L., Kang, S., Wu, Y., & Yu, W. (2010). Glacial distribution and mass balance in the Yarlung Zangbo River and its influence on lakes. *Chinese Science Bulletin*, 55(20), 2072-2078. <https://doi.org/10.1007/s11434-010-3213-5>
- Zhan, C., Han, Y., Cao, J., Wei, C., Zhang, J., & An, Z. (2013). Validation and application of a thermal-optical reflectance (TOR) method for measuring black carbon in loess sediments. *Chemosphere*, 91(11), 1462-1470. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.011>

Tabell 1. Metadata för sjöarna i Europa. Metadata för sjöarna i Europa sammanställdes från a Bogdal et al., 2011 och b Ruppel

	Koordinater	m.ö.h. (m)	Maxdjup (m)	Sjöarea (m ²)	Provtagningsdjup (m)
Thun (THU) ^a	46°40'N, 7° 44'E	558	219	47 700 000	219
Engstlen (ENG) ^a	46°46'N, 8° 21'E	1850	49	460 000	49
Oberaar (OBE) ^a	46°33'N, 8° 16'E	2303	90	1 460 000	ca.10
Stein (STE) ^a	46°43'N, 8° 26'E	1930	20	110 000	20
Karipääjärvi (KAR) ^b	68°49'N, 26° 52'E	265	6,7	320 000	6,7
Puoltsajärvi (PUO) ^b	68°26'N, 24° 41'E	355	7	170 000	7
Kuutsjärvi (KUU) ^b	67°45'N, 29° 37'E	341	8,6	6700	8,6
Saanajärvi (SAA) ^b	69°05'N, 20° 52'E	679	24	700 000	24
Vuoskojärvi (VUO) ^b	69°44'N, 26° 57'E	144	7,2	170 000	7,2

Tabell 2. Metadata för sjöarna i Kina. Metadata för sjöarna i Kina sammanställdes från a Neupane et al., (2019), och b Yao et al., (2010). n/a = not available.

	Koordinater	m.ö.h. (m)	Maxdjup (m)	Sjöarea (m ²)	Provtagningsdjup (m)
Gokyo (GOK) ^a	27°57,063'N, 86° 41,414'E	4750	n/a	429 000	n/a
Gosainkunda (GOS) ^a	28°5,717'N, 85° 39,017'E	4390	n/a	125 000	n/a
Tanglha (TAN) ^a	32°54,209'N, 91° 57,162'E	5152	n/a	255 000	n/a
Qiangyong Co (QIA) ^a	28°53,409'N, 90° 13,558'E	4866	n/a	79 200	n/a
Lingge Co (LIN) ^a	33°49.85'N, 88° 36,15'E	5051	n/a	124 160 000	n/a
Ranwu (RAN) ^a	29°36,433'N, 96° 47,783'E	3800	n/a	33 270 000 ^b	n/a

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

326. Qvarnström, Martin, 2012: An interpretation of oncoïd mass-occurrence during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (15 hp)
327. Ulmius, Jan, 2013: P-T evolution of paragneisses and amphibolites from Romeleåsen, Scania, southernmost Sweden. (45 hp)
328. Hultin Eriksson, Elin, 2013: Resistivitmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. (15 hp)
329. Mozafari Amiri, Nasim, 2013: Field relations, petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. (45 hp)
330. Saeed, Muhammad, 2013: Sedimentology and palynofacies analysis of Jurassic rocks Eriksdal, Skåne, Sweden. (45 hp)
331. Khan, Mansoor, 2013: Relation between sediment flux variation and land use patterns along the Swedish Baltic Sea coast. (45 hp)
332. Bernhardson, Martin, 2013: Ice advance-retreat sediment successions along the Logata River, Taymyr Peninsula, Arctic Siberia. (45 hp)
333. Shrestha, Rajendra, 2013: Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of aeolian sediments of Skåne, south Sweden. (45 hp)
334. Fullerton, Wayne, 2013: The Kalgoorlie Gold: A review of factors of formation for a giant gold deposit. (15 hp)
335. Hansson, Anton, 2013: A dendroclimatic study at Store Mosse, South Sweden – climatic and hydrologic impacts on recent Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growth dynamics. (45 hp)
336. Nilsson, Lawrence, 2013: The alteration mineralogy of Svartliden, Sweden. (30 hp)
337. Bou-Rabee, Donna, 2013: Investigations of a stalactite from Al Hota cave in Oman and its implications for palaeoclimatic reconstructions. (45 hp)
338. Florén, Sara, 2013: Geologisk guide till Söderåsen – 17 geologiskt intressanta platser att besöka. (15 hp)
339. Kullberg, Sara, 2013: Asbestkontamination av dricksvatten och associerade risker. (15 hp)
340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitetmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Wictor, 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)
342. Sidenmark, Jessica, 2013: A reconnaissance study of Rävliiden VHMS-deposit, northern Sweden. (15 hp)
343. Adamsson, Linda, 2013: Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth. (45 hp)
344. Gunterberg, Linnéa, 2013: Oil occurrences in crystalline basement rocks, southern Norway – comparison with deeply weathered basement rocks in southern Sweden. (15 hp)
345. Peterffy, Olof, 2013: Evidence of epibenthic microbial mats in Early Jurassic (Sinemurian) tidal deposits, Kulla Gunnarstorp, southern Sweden. (15 hp)
346. Sigeman, Hanna, 2013: Early life and its implications for astrobiology – a case study from Bitter Springs Chert, Australia. (15 hp)
347. Glommé, Alexandra, 2013: Texturella studier och analyser av baddeleyitomvandlingar i zirkon, exempel från sydöstra Ghana. (15 hp)
348. Brådenmark, Niklas, 2013: Alunskiffer på Öland – stratigrafi, utbredning, mäktigheter samt kemiska och fysikaliska egenskaper. (15 hp)
349. Jalnefur Andersson, Evelina, 2013: En MIFO fas 1-inventering av fyra potentiellt förorenade områden i Jönköpings län. (15 hp)
350. Eklöv Pettersson, Anna, 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. (15 hp)
351. Acevedo Suez, Fernando, 2013: The reliability of the first generation infrared refractometers. (15 hp)
352. Murase, Takemi, 2013: Närkes alunskiffer – utbredning, beskaffenhet och oljeinnehåll. (15 hp)
353. Sjöstedt, Tony, 2013: Geoenergi –

- utvärdering baserad på ekonomiska och drifttekniska resultat av ett passivt geoenergisystem med värmeuttag ur berg i bostadsrättsföreningen Mandolinen i Lund. (15 hp)
354. Sigfúsdóttir, Thorbjörg, 2013: A sedimentological and stratigraphical study of Veiki moraine in northernmost Sweden. (45 hp)
355. Månsson, Anna, 2013: Hydrogeologisk kartering av Hultan, Sjöbo kommun. (15 hp)
356. Larsson, Emilie, 2013: Identifying the Cretaceous–Paleogene boundary in North Dakota, USA, using portable XRF. (15 hp)
357. Anagnostakis, Stavros, 2013: Upper Cretaceous coprolites from the Münster Basin (northwestern Germany) – a glimpse into the diet of extinct animals. (45 hp)
358. Olsson, Andreas, 2013: Monazite in metasediments from Stensjöstrand: A pilot study. (15 hp)
359. Westman, Malin, 2013: Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem. (15 hp)
360. Åkesson, Christine, 2013: Pollen analytical and landscape reconstruction study at Lake Storsjön, southern Sweden, over the last 2000 years. (45 hp)
361. Andolfsson, Thomas, 2013: Analyses of thermal conductivity from mineral composition and analyses by use of Thermal Conductivity Scanner: A study of thermal properties in Scanian rock types. (45 hp)
362. Engström, Simon, 2013: Vad kan inneslutningar i zirkon berätta om Varbergsscharnockiten, SV Sverige. (15 hp)
363. Jönsson, Ellen, 2013: Bevarat maginnehåll hos mosasaurier. (15 hp)
364. Cederberg, Julia, 2013: U-Pb baddeleyite dating of the Pará de Minas dyke swarm in the São Francisco craton (Brazil) – three generations in a single swarm. (45 hp)
365. Björk, Andreas, 2013: Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva. (15 hp)
366. Karlsson, Michelle, 2013: En MIFO fas 1-inventering av förorenade områden: Kvarnar med kvicksilverbetning Jönköpings län. (15 hp)
367. Michalchuk, Stephen P., 2013: The Säm fold structure: characterization of folding and metamorphism in a part of the eclogite–granulite region, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
368. Praszkie, Aron, 2013: First evidence of Late Cretaceous decapod crustaceans from Åsen, southern Sweden. (15 hp)
369. Alexson, Johanna, 2013: Artificial groundwater recharge – is it possible in Mozambique? (15 hp)
370. Ehlorsson, Ludvig, 2013: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Åsumsfältet, Sjöbo. (15 hp)
371. Santsalo, Liina, 2013: The Jurassic extinction events and its relation to CO₂ levels in the atmosphere: a case study on Early Jurassic fossil leaves. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET