

Bilaga A Förslag på vägledning för analyser av ljusdata

Louise Eriander och Per-Olav Moksnes
Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet

En av de viktigaste komponenterna för att lyckas med en ålgräsrestaurering är att säkerställa att restaureringslokalen har miljöförhållanden som tillåter ålgräset att överleva på platsen. Denna typ av undersökningar bör påbörjas åtminstone 1 år innan en storskalig restaurering kan rekommenderas och inkluderar bland annat testplantering av ålgräs samt övervakning av ljusförhållanden (Moksnes m.fl. 2016). I handboken från 2016 diskuteras flera fysiska och biologiska faktorer som kan påverka miljöns lämplighet och hur dessa kan övervakas. Ofta är ljusförhållanden det som begränsar ålgräset och avgör om en lokal är lämplig samt vid vilket maxdjup planteringen kan ske. Därför bör ljusförhållandena undersökas under urvalsprocessen, genom att logga ljuset under sommarmånaderna. Det har dock saknats en enhetlig beskrivning av hur ljusdata som samlas in skall analyseras och tolkas. Nedan följer därför en ingående beskrivning av alla steg i denna process. Därefter ges ett exempel på analys av riktiga data.

Innehåll

1. Insamling av ljusdata.....	2
2. Kalibrering av mätare och omvandling av ljus från lux till PAR.....	3
3. Exkludering av inkorrekt data	4
4. Beräkning av K_d och D_{max}	6
5. Beräkning av Mol PAR per m ² per dag vid botten.....	6
6. Exempel – ljusanalys.....	7
6.1 Omvandling och kalibrering av ljusmätare.....	7
6.2 Uppställning och exkludering av inkorrekt data	7
<i>Identifiering av påväxt och skuggning</i>	<i>8</i>
<i>Identifiering av extremhöga värden och slutkontroll.....</i>	<i>10</i>
6.3 Beräkning av K_d och D_{max}	10
6.4 Beräkning av Mol PAR per dag vid botten.....	11
6.5 Tolkning av resultat	13
7. Referenser	13

1. Insamling av ljusdata

Ålgräsets ljuskrav varierar i litteraturen, men i medeltal sägs plantorna behöva 20% av ljuset vid ytan för att överleva (Dennison m.fl. 1993, Duarte m.fl. 2007). Forskning kring ålgräsrestaurering i Sverige har påvisat liknande ljuskrav (Moksnes m.fl. 2018) och studier under laboratorieförhållanden visar att den vegetativa tillväxten minskar när ljusnivåerna når under 5 mol PAR per m² per dag, men att plantorna kan överleva vid ljusförhållanden ned till 3 mol PAR per dag (Eriander 2017). Vid val av lokaler för restaurering utgör därför mätning av ljusförhållanden en viktig del av utvärderingen av miljöförhållandena, och beräkning av ljusutsläkningskoefficienten (Kd) i vattnet rekommenderas (Moksnes m.fl. 2016). Metoder för analys av ljusförhållanden i vattnet skiljer sig dock stort i litteraturen och det har saknats en detaljerad vägledning för hur ljusmätare skall kalibreras, om och hur data ska exkluderas, samt på vilket sätt Kd ska beräknas. En mer standardiserad metod för ljusanalys är viktig för att säkerställa att resultat är jämförbara mellan olika restaureringsprojekt och studier av ålgräsets ljuskrav. Nedan följer därför en detaljerad metodbeskrivning och vägledning för analyser av ljusförhållanden i vattnet.

De ljusmätare som använts under utvecklingen av metoden är Lux-mätare av märket Onset HOBO, men de metoder som beskrivs för sortering av data och beräkning av ljusvariabler är även applicerbara för andra typer av ljusmätare som kan lagra data. Många olika typer av ljusmätare finns tillgängliga på marknaden, vilka mäter ljuset antingen som fotosyntetiskt aktivt ljus (PAR) eller Lux. I denna bilaga beskrivs metoden vid mätning av ljus i enheten Lux. Generellt så är datalagrande PAR-mätare dyrare än lux-mätare, och inom forskningsprogrammet ZORRO har framförallt de billigare lux-mätarna av märket Onset HOBO använts. Lux-värdena har därefter omvandlats till PAR genom att kalibrera mätarna mot en PAR-mätare (se nedan). Onset HOBO finns tillgängliga i två modeller; den äldre UA-002-64 som endast kan programmeras att ta momentanvärden av Lux med valda intervall samt den nyare modellen MX2022 som kan logga ljusvärden regelbundet varefter ett medelvärde beräknas för ett valt tidsintervall. Den senare modellen rekommenderas, då dessa mätare ger stabilare data med färre avvikande värden (se nedan).

Ljuset mäts under ålgräsets tillväxtsäsong (maj-september) med hjälp av datalagrande ljusmätare. Ljuset kan mätas kontinuerligt om mätarna rengörs med 1-2 veckors intervall beroende på grad av påväxt. Alternativt kan ljuset mätas under en period av 2 veckor i början tillväxtsäsongen, till exempel i juni/juli och igen under september. På lokaler där exempelvis avrinning från land eller uppgrumling av sediment från botten riskerar att påverka ljusnivåerna negativt kan längre eller tätare mätperioder rekommenderas för att identifiera eventuella perioder med dåligt ljus som skulle kunna påverka ålgräset negativt.

För att beskriva ljusförhållandena i vattnet måste två ljusmätare användas som placeras vid olika djup på samma plats i varje potentiell restaureringslokal. Genom att mäta ljus på två djup kan utsläkningskoefficienten (kd) i vattnet beräknas. Utsläkningskoefficienten kan vidare användas för att beräkna den teoretiskt maximala djuputbredningen för ålgräs på lokalen (Dmax) förutsatt att ljusförhållanden är samma vid olika platser i lokalen (se nedan). Den djupa mätaren bör placeras ca 20 centimeter från botten, vid det djup där restaureringen planeras. På så sätt kan även den totala mängden ljus (PAR; mol fotoner/m²/dag) som når planterat ålgräs per dag beräknas. Den grundare mätaren placeras ca 120 centimeter från botten så att djupskillnaden mellan mätarna blir 1 meter. Det är viktigt att djupskillnaden mellan mätarna mäts exakt då små skillnader har en stor påverkan när kd beräknas. Det är viktigt att ljusmätarna placeras på minst 1,5 meters djup så att det inte finns risk att den grundare mätaren torrläggs. Man bör dock undvika att placera ljusmätaren för långt ifrån platsen där planteringen planeras, t.ex. på djupare

vatten utanför ett grundområde, då det är vanligt att djupare områden har bättre vattenkvalitet med mindre uppgrumling än det grundare (Moksnes m. fl. 2018).

Mätarna programmeras att registrera ljuset var 15e minut för att få en hög upplösning på datan över dagen men minimera risken att mätarens minne blir fullt (detta gäller för ljusmätare av märket Onset HOBO). För att maximera mängden användbara data bör mätarna rengöras minst varannan vecka. Erfarenheter från flera års ljusmätningar visar att påväxt generellt inte är ett problem de första två veckorna. För dyrare PAR-mätare finns idag möjlighet att köpa till automatiska rengöringsenheter.

2. Kalibrering av mätare och omvandling av ljus från lux till PAR

Ljusmätarna Onset HOBO registrerar ljuset i enheten lux och för att omvandla detta värde till fotosyntetiskt aktivt ljus (PAR) kalibreras de mot en PAR-mätare. Kalibreringen sker enklast på land genom att lux-mätarna placeras tillsammans med en PAR-mätare på en plan yta där alla mätare är orienterade i samma riktning och mätningen sker från morgon till kväll. Om möjligt bör en dag med klart väder väljas så att man får ett bredare spann av PAR-värden över dagen. Om inte PAR-mätaren loggar ljusvärden bör minst 20 PAR-värden skrivas ned vid olika ljusförhållanden, till exempel från morgon till lunchtid då även lux-mätaren registrerar ett värde. Vid kalibreringen av MX2022-mätarna är det viktigt att använda sig av det momentana mätvärdet och inte medelvärdet som också registreras.

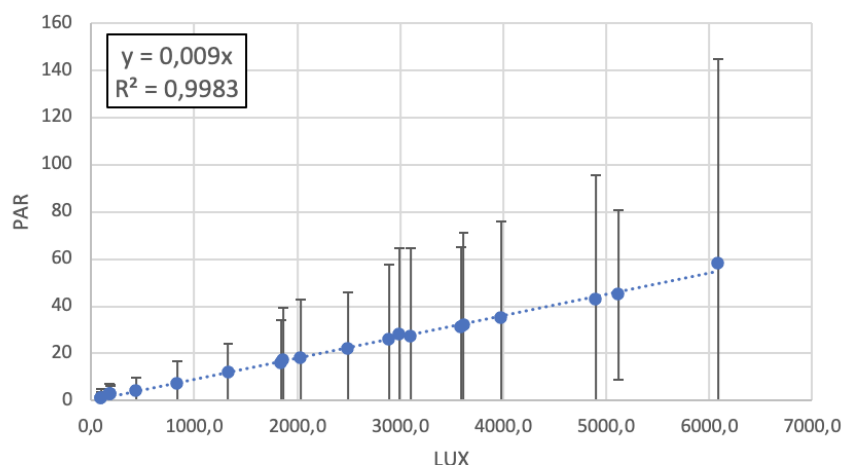
Linjära regressioner görs därefter mellan PAR och lux för varje ljusmätare separat ekvationen för det linjära förhållandet mellan Lux- och PAR-värdena tas fram som sen kan användas för omvandling till PAR-värden och samtidigt kalibrera olika mätare till varandra. Analysen visar ofta betydande skillnader mellan individuella mätare, också inom samma modell, varför det är viktigt att kalibrera alla mätare individuellt. MX2022-mätarna påvisar generellt mindre variation mellan mätare än de äldre UA-002-64-mätarna (Figur 1). I. Jämförelser mellan de två typerna av mätare påvisar även stora skillnader i förhållandet mellan PAR och Lux (Figur 1), så använder man både gamla (UA-002-64) och nya (MX2022) mätare blir kalibreringen av dessa extra viktig. Om kalibrering av ljusmätarna av någon anledning inte är möjlig kan man använda sig av medelvärdet för förhållandet som tagits fram för gamla respektive nya ljusmätare:

Medelformel för UA-002-64 (gamla mätare): $PAR = lux * 0,0090 \quad R^2 = 0,998$ Formel 1.

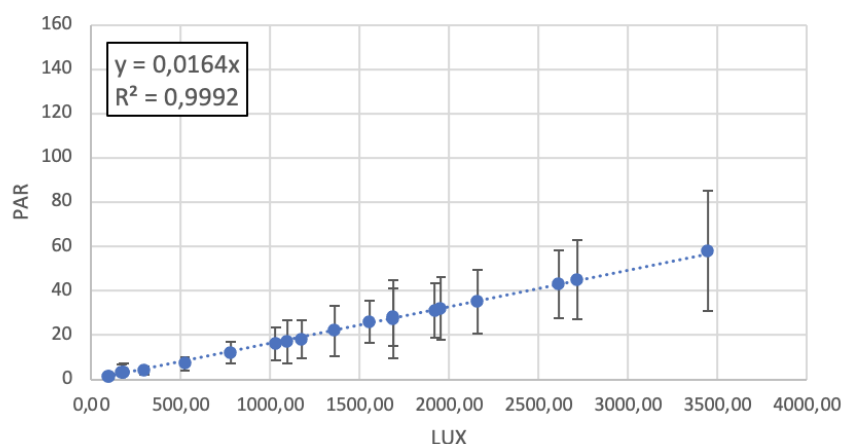
Medelformel för MX2022 (nya mätare): $PAR = lux * 0,0164 \quad R^2 = 0,999$ Formel 2.

Förhållandet baseras på medelvärden från 21 st UA-002-64-mätare (441 mätpunkter) och 22 stycken MX2022-mätare (462 mätpunkter).

UA-002-64 medelförhållandet mellan PAR och Lux



MX2022 medelförhållande mellan PAR och Lux



Figur 1. Medelförhållandet mellan PAR och Lux ($\pm$ standard error) för gamla (UA-002-64; n=21) respektive nya (MX2022; n=22) Lux-mätare.

3. Exkludering av inkorrekt data

Efter kalibrering och omvandling av ljusdatan till PAR undersöks den för att exkludera inkorrekt data som kommer av t.ex. påväxt på mätarna eller att djur eller drivande alger skuggar mätarna. Vidare behöver man exkludera extremt höga värden som uppstått genom enstaka mätfel, och som påverka beräkningen av det totala ljuset per dag (se nedan). I detta avsnitt beskrivs hur man kan identifiera felaktig data och exkludera den. I avsnitt 6 ges exempel på hur dessa analyser går till.

Identifiering av påväxt och skuggning

Genom att studera ljus vid den djupa och grunda mätaren samt förhållandet mellan dessa kan man bedöma om datan indikerar påväxt eller endast är ett resultat av förändrad ljusinstrålning eller grumlighet i vattnet. För att bedöma detta plottas medelljuset per dag vid ytan och botten tillsammans med kvoten mellan medelljusvärdena (botten/ytan).

Vi förväntar oss att det uppmätta ljuset kan variera mellan dagar av tre olika anledningar:

1. Förändringar i solinstrålning beroende på moln och årstid.
2. Förändringar av grumlighet i vattnet.
3. Påväxt/skuggning av mätarna.

Följande antagen kan göras, vilket kan underlätta tolkningen av data:

1. Ljusförändringar som orsakas av **solinstrålning** kan ge stora variationer mellan dagar, men **ska inte påverka kvoten** mellan mätarna (djup/grund).
2. Förändringar av **turbiditeten förändrar i första hand kvoten**, då värden på den djupa mätaren ska minska mer än den grunda då turbiditeten ökar (dvs kvoten minskar vid ökad turbiditet). Turbiditet beroende på **vinddriven** resuspension förväntas leda till relativt korta perioder med låga kvoter (dag till dagar) beroende på om de drivs av sjöbris eller stormar. Dessa perioder förväntas påverka närstående mätare synkront om de har samma exponering. Turbiditet beroende på **utflöde från vattendrag** förväntas ge lite längre perioder (dagar-vecka) beroende på regnet/utflödets omfattning och kan ge mer lokala effekter som kan variera från lokal till lokal. Turbiditet orsakad av **algbloomning** förväntas ge längre effekter över längre perioder (dagar-veckor) och omfatta större områden (samma trend på närliggande lokaler).
3. Förändringar på grund av **algpåväxt** på mätarna förväntas leda till långsamt (över dagar-veckor) minskande ljusvärden på drabbade mätare, och mer på den grunda mätaren än den djupa (då den är mindre ljusbegränsad), vilket alltså leder till en **långsamt ökande kvot som består**. Denna kan vara, men förväntas inte nödvändigtvis vara synkron med närliggande lokaler. Förändringar pga. skuggning från drivande **algmattor** på botten eller snabbväxande **bottenväxter** förväntas sänka värdena på endast de djupa mätarna och kan ge snabba och **bestående sänkningar av kvoten** som inte förväntas vara synkron med närliggande lokaler.

Sammanfattningsvis förväntas turbiditet ge mer synkrona, övergående effekter på kvoten än påväxt.

Identifiering av extremhöga värden

Efter att perioder med dålig data exkluderats behöver även eventuella extremhöga PAR-värden avlägsnas. Detta är viktigt eftersom summan av alla värden över en dag används vid beräkning av Kd (se nedan), vilket gör att felaktigt höga värden kan ge stor påverkan. Dessa identifieras genom att plotta alla registrerade värden mot tiden, alternativt genom att sortera datan efter ljusvärdet. För de nyare ljusmätarna (MX 2022) är dessa extremvärden generellt inget problem då ljusvärdet utgör ett medelvärde över förslagvis var 15e minut. Däremot har studier av ljus som loggats med de äldre (UA-002-64) mätarna visat att extremhöga PAR-värden (>3000 PAR) ibland registreras. Även mätpunkter då kvoten överstiger 1 exkluderas (då ljuset aldrig kan vara högre vid bottenmätaren). Dessa identifieras genom att sortera datan efter kvoten.

Slutkontroll

För att kontrollera så att exkluderingen av dåliga perioder och inkorrekta mätvärden lett till förbättrad kvalitet på datan kan man göra linjära regressioner mellan PAR vid ytan och PAR vid botten för varje mätpunkt före och efter 'rengöring' av data. Om datan har förbättrats bör regressionen visa på färre avvikande värden. I vissa fall kan flera trendlinjer ses, vilket inte är fel utan endast påvisar en förändring i förhållandet mellan mätarna, vilket indikerar förändringar i vattenkvalité över längre tidsperioder (se exempel i avsnitt 6 nedan).

4. Beräkning av Kd och Dmax

För att beräkna Ljusutsläkningskoefficienten (kd) summeras först alla PAR värden per dygn för yt- respektive bottenmätaren. Detta görs för att stabilisera datan och undvika att enskilda höga eller låga kvoter mellan de två mätarna får för stort genomslag. Därefter beräknas Kd per dygn med dessa summerade värden enligt formeln:

$$Kd = -\ln(PAR_{djup \text{ mätare } DayX} / PAR_{grund \text{ mätare } DayX}) / Djupskillnad \text{ mellan mätare} \quad \text{Formel 3.}$$

Detta ger ett dagliga Kd-värden för hela mätperioden. Dessa dagsvärden kan sedan användas för att beräkna medelvärde över en vald period, t.ex. de första två veckorna, per månad, osv.

Baserat på kd-värdena kan den teoretiskt maximal djuputbredningen på lokalen (Dmax; med förutsättningen att ålgräs kräver 20% av ljuset vid ytan) beräknas för respektive dag eller för vald period enligt formeln:

$$Dmax = \ln(0,2) / -kd \quad \text{Formel 4.}$$

5. Beräkning av Mol PAR per m2 per dag vid botten

Vid beräkning av den totala mängden ljus i enheten Mol fotoner PAR per kvadratmeter per dag som når djupet där ålgräs växer, eller där man vill restaurera, analyseras mätvärdena som registrerats av mätaren som står närmast botten (20 centimeter från botten). Beräkningar av totalmängden ljus som når botten ger ett ekologiskt relevant mått på faktiska ljusförhållanden, och då beräkningen av detta värde ej påverkas av ljuset som uppmätts av ytmätaren ger det även ett oberoende mått på ljus.

Eftersom värdet som bedöms är den kumulativa mängden ljus som når botten per dygn, är det viktigt att värden finns för alla mätpunkter under ett dygn, och att värden som t.ex. exkluderats som extrema eller felaktiga ersätts. För att underlätta denna process tas alla mätvärden registrerade mellan 21.00 och 05.00 inledningsvis bort då ljuset generellt är noll eller nära noll vid dessa tider på sommaren. Saknade värden ersätts genom att kopiera det tidmässigt närmsta korrekt registrerade värdet av PAR till platsen där ett mätvärde saknas. PAR. Eftersom PAR mäts per sekund och värden registreras av mätarna var 15e minut är det viktigt att räkna fram varje sekund-värde för PAR för att kunna beräkna den totala mängden ljus som når botten under ett dygn. Därför förutsätts konstanta ljusförhållanden under tiden mellan mätpunkter och varje

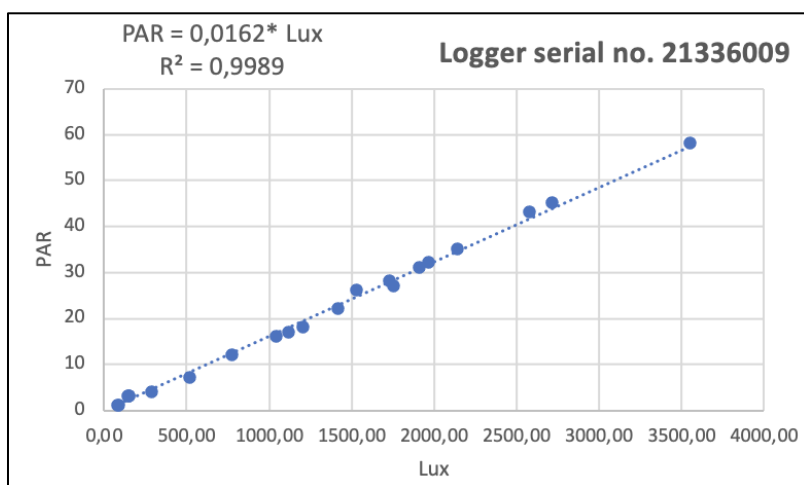
mät punkt multipliceras med 15 (om ljuset mäts var 15e minut) och därefter med 60, för att få PAR-värdet i mikromol/m²/sekund. Därefter summeras dessa PAR-värden över dagen och summan delas därefter med 1,000,000 för att få PAR-värdet i enheten mol PAR per m² per dag (se avsnitt 6 för exempel).

6. Exempel – ljusanalys

Nedan följer ett exempel på alla stegen enligt ovan föreslagna metoder för analys av ljus. Exemplet kommer från ljusdata som samlades in på två lokaler (Triton och Varvsbassängen) i Malmö hamn under våren och sommaren 2024. Ljusbåtare var placerade vid två olika djup (20 centimeter och 120 centimeter) över botten på respektive lokal och mätte ljuset mellan den 24 maj till 26 augusti. Ljuskvärden loggades var 30e sekund, varefter ett medelvärde beräknades för varje 15-minutersintervall, vilket sparades i mätaren.

6.1 Omvandling och kalibrering av ljusbåtare

Måtarena var av modellen MX2022 och hade innan utsättning kalibrerats mot en PAR-måtare i luft för att få fram specifika formler för omvandling från lux till PAR för respektive måtare (se exempel på regression för en av måtarena i Figur 2).



Figur 2. Resultaten från kalibrering av en lux-måtare där synkrona mätningar av ljus i lux och PAR genomförts. Genom en linjär regression med skärning genom origo erhålls ekvationen för omvandling från lux till PAR för varje specifik lux-måtare.

6.2 Uppställning och exkludering av inkorrekt data

Ljusdata laddades ned från måtarena, importerades till Excel och organiserades i ett arbetsblad per lokal. Lux-värdena omvandlas till PAR genom varje mätarens unika omvandlingsformel som tagits fram genom kalibrering (se avsnitt 2). För varje lokal placeras data från den grundna och djupa mätaren i kolumner bredvid varandra, där man säkerställer att tidpunkterna för mätningen matchar under hela mätperioden (Figur 3).

#	Date-Time (CEST)	Lux - ytan	PAR - ytan	Date-Time (CEST)	Lux - botten	PAR - botten
147	05-24-2024 05:30:00	451,8	7,3	05-24-2024 05:30:00	340,4	5,7
148	05-24-2024 05:45:00	733,1	11,9	05-24-2024 05:45:00	566,2	9,4
149	05-24-2024 06:00:00	1023,1	16,6	05-24-2024 06:00:00	790,9	13,1
150	05-24-2024 06:15:00	1376,2	22,3	05-24-2024 06:15:00	1066,0	17,7
151	05-24-2024 06:30:00	1886,4	30,6	05-24-2024 06:30:00	1463,5	24,3
152	05-24-2024 06:45:00	1931,3	31,3	05-24-2024 06:45:00	1528,7	25,4
153	05-24-2024 07:00:00	1931,0	31,3	05-24-2024 07:00:00	1544,5	25,6
154	05-24-2024 07:15:00	2339,1	37,9	05-24-2024 07:15:00	1899,6	31,5
155	05-24-2024 07:30:00	3247,6	52,6	05-24-2024 07:30:00	2532,3	42,0
156	05-24-2024 07:45:00	4898,3	79,4	05-24-2024 07:45:00	4074,9	67,6
157	05-24-2024 08:00:00	5457,8	88,4	05-24-2024 08:00:00	4853,7	80,6
158	05-24-2024 08:15:00	6798,8	110,1	05-24-2024 08:15:00	5992,1	99,5
159	05-24-2024 08:30:00	7884,1	127,7	05-24-2024 08:30:00	6683,7	110,9
160	05-24-2024 08:45:00	8524,0	138,1	05-24-2024 08:45:00	7460,9	123,9
161	05-24-2024 09:00:00	9648,4	156,3	05-24-2024 09:00:00	8241,2	136,8
162	05-24-2024 09:15:00	11135,1	180,4	05-24-2024 09:15:00	9940,6	165,0
163	05-24-2024 09:30:00	14667,8	237,6	05-24-2024 09:30:00	12975,1	215,4
164	05-24-2024 09:45:00	8544,9	138,4	05-24-2024 09:45:00	7156,8	118,8
165	05-24-2024 10:00:00	5837,6	94,6	05-24-2024 10:00:00	4740,4	78,7
166	05-24-2024 10:15:00	9129,6	147,9	05-24-2024 10:15:00	7836,4	130,1
167	05-24-2024 10:30:00	7123,5	115,4	05-24-2024 10:30:00	5967,4	99,1
168	05-24-2024 10:45:00	6105,2	98,9	05-24-2024 10:45:00	4915,6	81,6
169	05-24-2024 11:00:00	8976,6	145,4	05-24-2024 11:00:00	7352,5	122,1
170	05-24-2024 11:15:00	8663,2	140,3	05-24-2024 11:15:00	7012,7	116,4
171	05-24-2024 11:30:00	10146,6	164,4	05-24-2024 11:30:00	8160,0	135,5
172	05-24-2024 11:45:00	9641,3	156,2	05-24-2024 11:45:00	7746,8	128,6
173	05-24-2024 12:00:00	11631,9	188,4	05-24-2024 12:00:00	9527,7	158,2
174	05-24-2024 12:15:00	20218,2	327,5	05-24-2024 12:15:00	14503,4	240,8
175	05-24-2024 12:30:00	26134,7	423,4	05-24-2024 12:30:00	18923,5	314,1
176	05-24-2024 12:45:00	29205,2	473,1	05-24-2024 12:45:00	21360,3	354,6
177	05-24-2024 13:00:00	28497,1	461,7	05-24-2024 13:00:00	20443,7	339,4

Figur 3. Visar den initiala uppställningen av data i Excel, där data från den grunda (ytan) och djupa (botten) lux-mätaren har placerats i kolumner bredvid varandra, där tidpunkterna matchar mellan mätare. PAR har beräknats för varje lux-värde utifrån ljusmätarens specifika omvandlingsformel (se avsnitt 2).

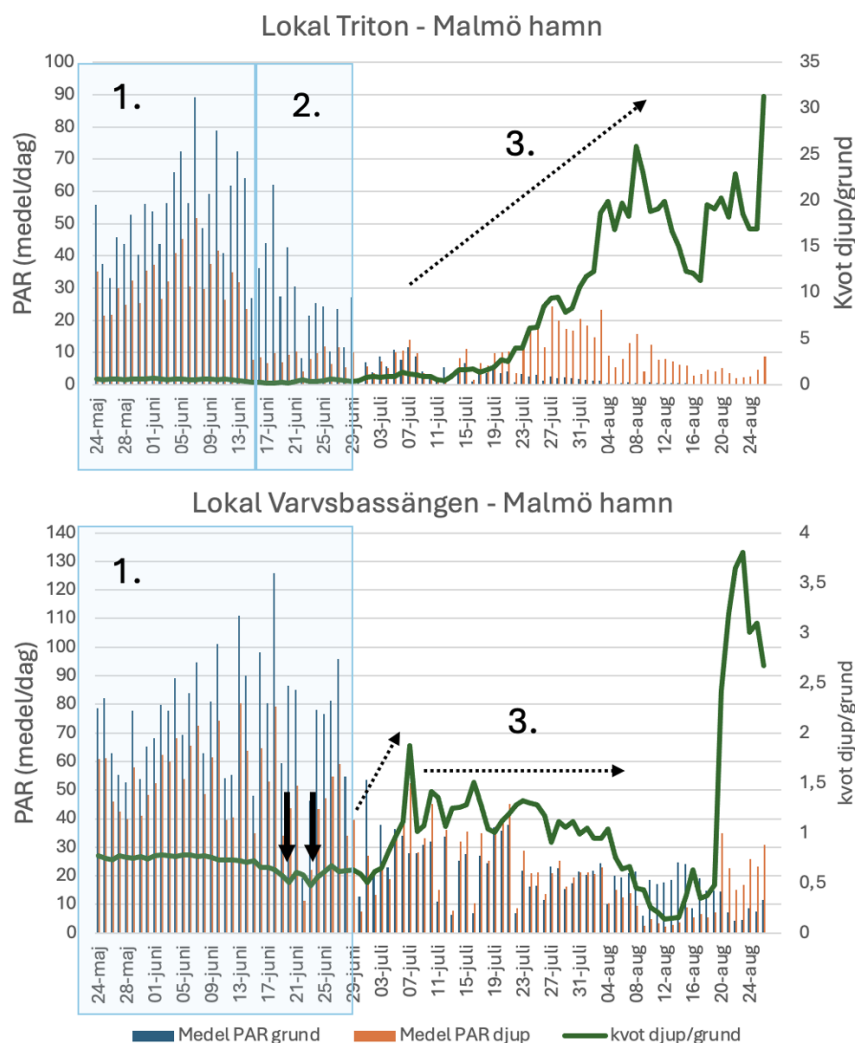
Identifiering av påväxt och skuggning

Nästa steg är identifiera perioder där påväxt och skuggning orsakat dålig data som behöver exkluderas. Analysen startas med att beräkna medelvärden av PAR per dag för den grunda och djupa mätaren, vilket enklast görs genom att infoga en pivottabell i Excelbladet. Utifrån medelvärdena beräknades även kvoten mellan den djupa och grunda ljusmätaren fram (PAR botten/PAR ytan). Resultaten plottades sen i en graf med två y-axlar så att både PAR-värden och kvoten kan ses i samma figur (Figur 4).

Genom att ställa upp resultaten från de två lokalerna bredvid varandra kan man kontrollera att mätarna fungerat som de ska, då synkrona förändringar i ljusinstrålning (PAR) bör ses som ett resultat av liknande väder, vilket är fallet för datan insamlad från de två lokalerna i Malmö hamn (Figur 4). Under period 1 vid de två lokalerna ses variationer i ljus mellan dagar, men lite förändring i kvoten, vilket indikerar att variationen beror på dagliga skillnader i ljusinstrålning. Den 20e och 23e juni ses två mindre dippar i kvoten på lokal 'Varvsbassängen' Detta indikerar ökad turbiditet, då värdena vid den djupa mätaren minskar mer än den grunda (dvs kvoten minskar = ljusförhållandena försämras).

Efter den 14 juni (period 2; Figur 4) sker en kraftig minskning av ljuset vid den djupa mätaren på lokal "Triton", och en mer långsamt minskande ljusmängd vid den grunda mätaren, vilket skapar en minskning i kvoten. Då det sker plötsligt är det oklart om detta beror på ökad turbiditet eller påväxt (som oftast indikeras av en långsam trend). Men då det endast sker vid denna lokal och ljusvärdena därefter är fortsatt lägre än tidigare vid botten tyder det på att mätaren blivit påväxt eller skuggad av drivande alger. Efter den 29 juni (period 3; Figur 4) ökar kvoten snabbt på lokal "Triton". Det beror på en minskande mängd ljus uppmätt av den grunda mätaren vid ytan. Det är tydligt på denna lokal att den grunda mätaren är rejält påväxt då ljusvärdena närmar sig noll i slutet av mätperioden. På lokal "Varvsbassängen" sker också en minskning av ljus registrerat av den grunda mätaren efter den 29 juni (period 3; Figur 4). Kvoten ökar först snabbt varefter den fluktuerar runt 1 fram till augusti, vilket tyder på påväxt av framför allt den grunda mätaren.

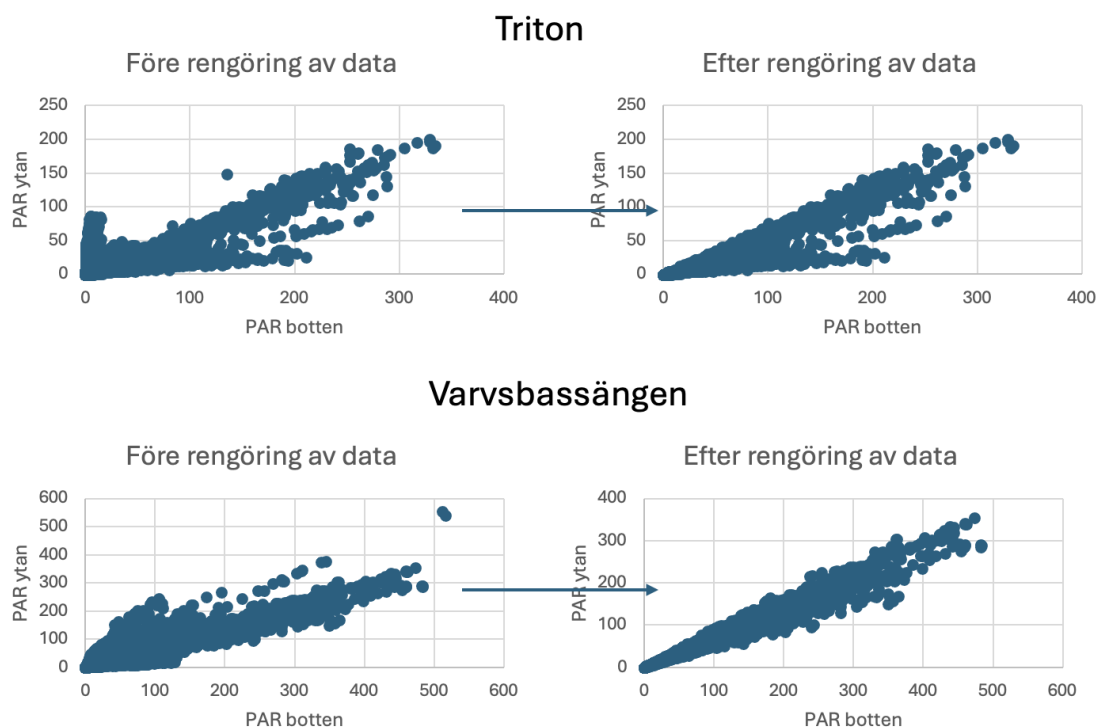
Den tillförlitliga mätperioden har bedömts pågå från 24 maj till 29 juni på båda lokalerna (då det är oklart om minskningen i ljus vid den djupa mätaren på lokal "Triton" efter den 17 juni beror på ökad turbiditet eller påväxt). Det är dock viktigt att förtydliga att denna del av analysen till viss del blir subjektiv, och att värden mer än två veckor efter start eller rengöring av mätarna bör anses som mer osäkra.



Figur 4. Val av perioder inför analys. Grafen visar dagliga medelvärden av PAR vid den grunda (vid ytan) och djupa (vid botten) ljusmätaren samt kvoten mellan dessa (djup/grund; högra axeln). Grafen används för att upptäcka inkorrekta värden orsakade av t.ex. påväxt och för att kunna exkludera dessa innan analys. De blåmarkerade områdena är perioderna som valts ut för analys.

Identifiering av extremhög värden och slutkontroll

Efter att data exkluderats för de osäkra perioderna studeras datan på nytt för att upptäcka avvikande värden. I detta fall registrerades inga extremhög PAR-värden, men data togs bort för alla tidpunkter där kvoten översteg 1 (då ljuset inte kan vara högre vid botten än ytan). För att kontrollera att en förbättring av datan skett jämfördes linjära regressioner mellan ljuset vid ytan och botten före och efter kontroll av datan (Figur 5).



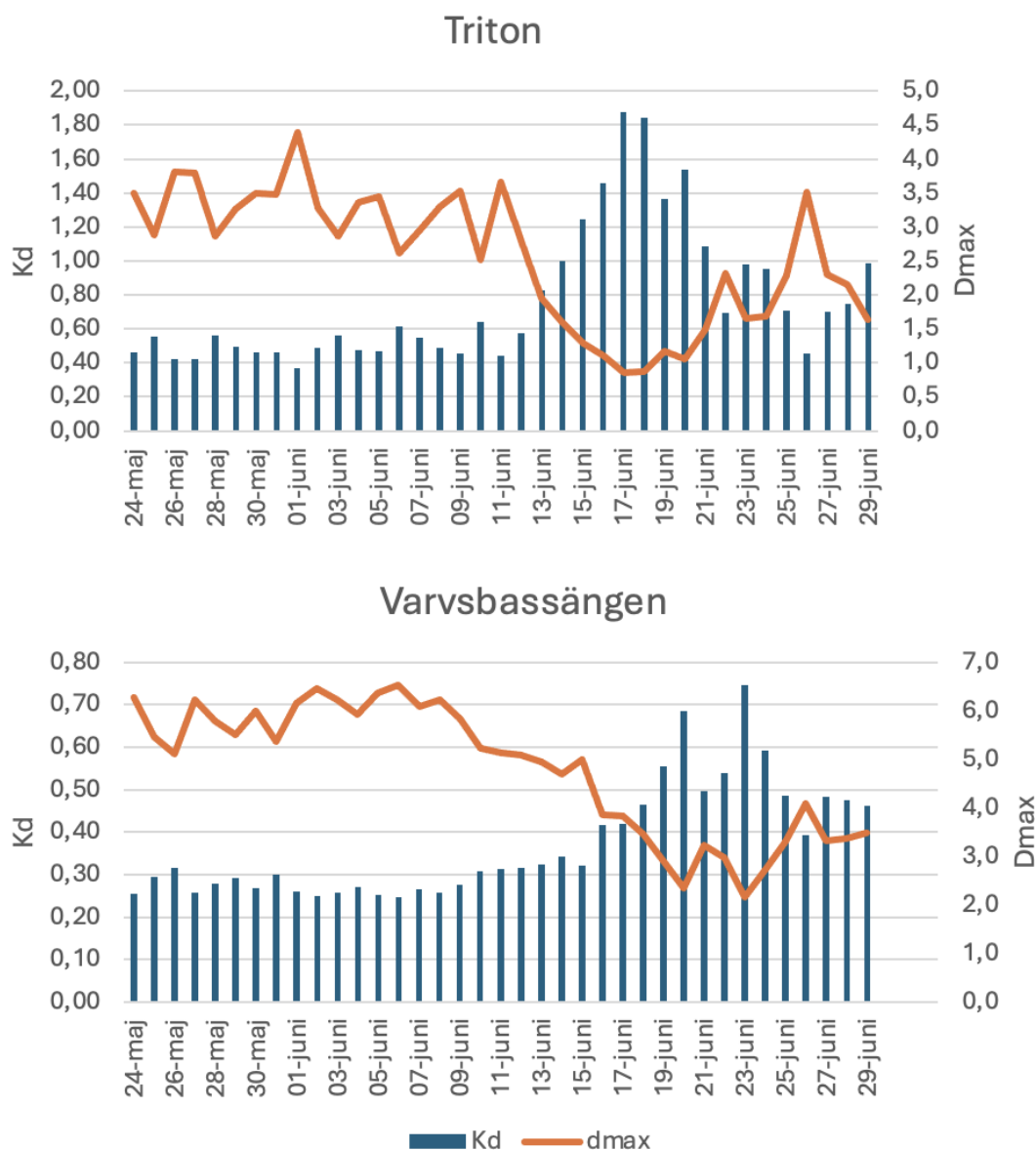
Figur 5. Visar förhållandet mellan ljuset vid den grunda och djupa ljusmätaren (PAR-värden registrerade var 15e minut) före och efter att osäkra mätperioder samt avvikande värden exkluderats.

6.3 Beräkning av Kd och Dmax

Med hjälp av en pivottabell för den slutgiltiga data i analysen beräknades summan av PAR för varje dag. Dessa värden användes sedan för att beräkna ljusutsläkningskoefficienten per dag enligt formel 3. Dagliga teoretiska maxdjup för ålgräsbredning (Dmax) beräknades därefter utifrån Kd-värdena enligt formel 4. Kd och Dmax per dag plottades därefter i en gemensam graf och resultaten sammanställdes även i tabellform som medelvärden för de första två veckorna samt för hela perioden (Figur 6; tabell 1).

Tabell 1. Summering av ljusutsläckning (kd), teoretiska maxdjupet för ålgräs (Dmax) samt mängden ljus vid botten för de första två veckorna samt över hela mätperioden.

	Medel Kd Första 2 veckorna	Medel Kd Hela perioden	Medel Dmax Första 2 veckorna	Medel Dmax Hela perioden	Medel Mol PAR/dag Första 2 veckorna	Medel Mol PAR/dag Hela perioden
Triton	0,49	0,77	3,4	2,6	2,7	1,9
Varvsbassängen	0,27	0,37	6,0	4,8	4,7	4,2



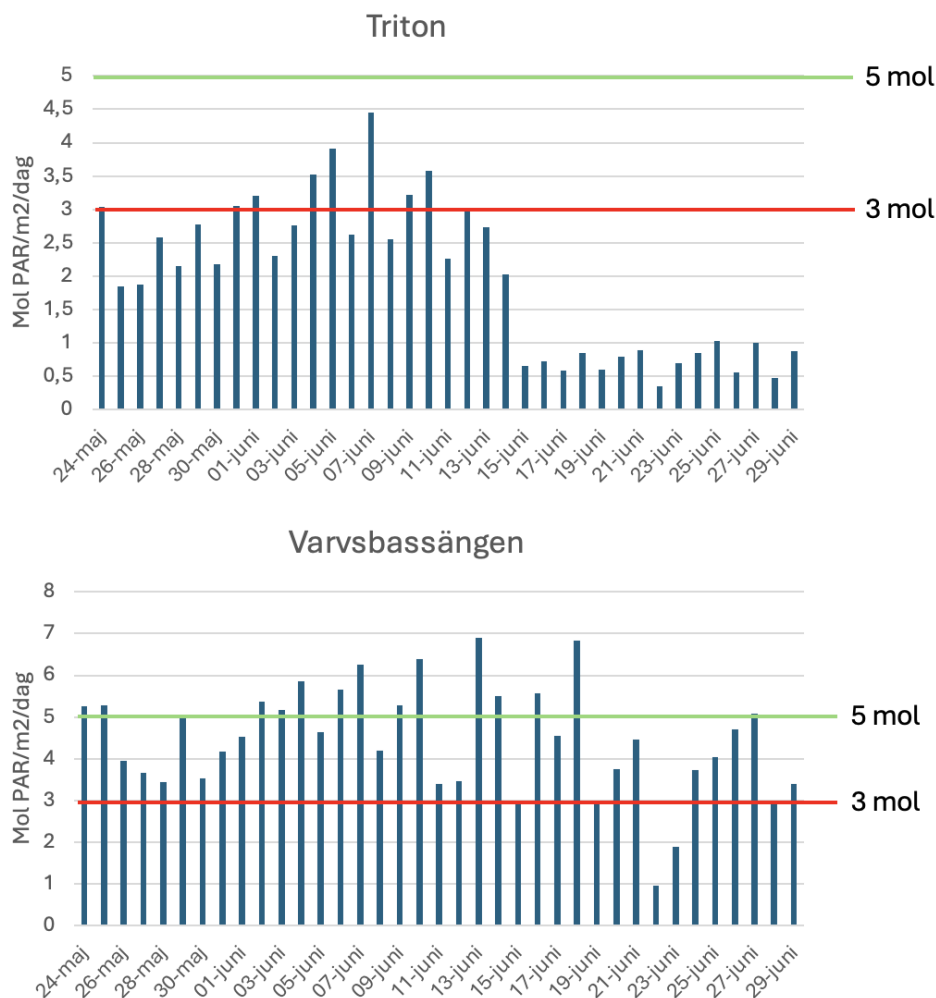
Figur 6. Dagliga värden av Kd och Dmax vid lokal Triton och Varvsbassängen i Malmö hamn.

6.4 Beräkning av Mol PAR per dag vid botten

För att beräkna mängden ljus i Mol PAR/m²/dag som når botten exporterades data på PAR vid botten, datum och tid till ett nytt Excelblad. Då PAR skall summeras är det viktigt att data finns tillgänglig för alla mätpunkter med dagsljus över dagen. Detta innebär att startdagen (då mätaren sätts ut mitt på dagen) exkluderades. Även värden mellan kl. 21.00-05.00 exkluderades då ljuset i princip var noll vid dessa tidpunkter. Därefter fylldes alla tomma celler där avvikande värden exkluderats med det i tiden närmsta korrekt registrerade mätvärdet (Figur 7). Varje mätpunkt multiplicerades därefter med 15 och därefter 60 för att få PAR-värdet i µmol/m²/sekund. Med hjälp av en pivottabell summerades därefter alla PAR-värden över dagen och summan delas med 1,000,000 för att få PAR-värdet i enheten Mol PAR/m²/dag. Mol PAR per dag plottades därefter i en graf och resultaten sammanställdes även i tabellform som medelvärden för de första två veckorna samt för hela perioden (Figur 8; tabell 1).

#	Date-Time (CEST)	Date	Time	PAR bottom
2029	07-27-2022 15:00:00	2022-07-27	15:00:00	283,9
2030	07-27-2022 15:15:00	2022-07-27	15:15:00	292,4
2031	07-27-2022 15:30:00	2022-07-27	15:30:00	278,9
2032	07-27-2022 15:45:00	2022-07-27	15:45:00	267,3
2033	07-27-2022 16:00:00	2022-07-27	16:00:00	257,5
2034	07-27-2022 16:15:00	2022-07-27	16:15:00	264,3
2035	07-27-2022 16:30:00	2022-07-27	16:30:00	260,6
2036	07-27-2022 16:45:00	2022-07-27	16:45:00	260,6
2037	07-27-2022 17:00:00	2022-07-27	17:00:00	252,8
2038	07-27-2022 17:15:00	2022-07-27	17:15:00	246,0
2039	07-27-2022 17:30:00	2022-07-27	17:30:00	220,1
2040	07-27-2022 17:45:00	2022-07-27	17:45:00	215,8
2041	07-27-2022 18:00:00	2022-07-27	18:00:00	205,4

Figur 7. Exempel på uppställning av data inför analys av Mol PAR per dag vid bottenmätaren hur tomma celler (för data # 2036) fylls med det i tiden närmsta korrekt registrerade ljusvärdet.



Figur 8. Mol PAR per dag som når botten vid lokal Triton och Varvsbassängen. Den röda linjen (3 mol) visar gränsen för ålgräsöverlevnad och den blå linjen (5 mol) visar gränsen för obehindrad vegetativ tillväxt (Eriander 2017).

6.5 Tolkning av resultat

Resultaten från Triton och Varvsbassängen visar på variationer i vattenkvalité, där Varvsbassängen generellt har klarare vatten (lägre K_d och högre D_{max}) än Triton (Tabell 1). Detta stöds också av de faktiska PAR-värdena uppmätta på botten vid de två lokalerna. Djupet vid Varvsbassängen är 4 meter och mängden ljus som når botten är över gränsen för ålgräsöverlevnad alla dagar utom två under mätperioden (Figur 8.) Vid Triton var djupet 3,5 meter och ljusförhållandena under kravet för ålgräsöverlevnad en stor del av mätperioden (de låga värdena från den 17e juni skulle dock kunna bero på att de djupa mätarna blivit påväxta – se tidigare diskussion). Enligt D_{max} skulle ålgräs maximalt kunna växa ned till 3,4 meter på denna lokal.

7. Referenser

Dennison, W. C., Orth, R. J., Moore, K. A., Stevenson, J. C., Carter, V., Kollar, S., ... & Batiuk, R. A. (1993). Assessing water quality with submersed aquatic vegetation: habitat requirements as barometers of Chesapeake Bay health. *BioScience*, 43(2), 86-94.

Duarte, C. M., Marbà, N., Krause-Jensen, D., & Sánchez-Camacho, M. (2007). Testing the predictive power of seagrass depth limit models. *Estuaries and Coasts*, 30, 652-656.

Eriander, L. (2017). Light requirements for successful restoration of eelgrass (*Zostera marina* L.) in a high latitude environment—acclimatization, growth and carbohydrate storage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 496, 37-48.

Moksnes P-O, Gipperth L, Eriander L, Laas K, Cole S, Infantes E. 2016b. Handbok för restaurering av ålgräs i Sverige: Vägledning. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2016:9.

Moksnes, P. O., Eriander, L., Infantes, E., & Holmer, M. (2018). Local regime shifts prevent natural recovery and restoration of lost eelgrass beds along the Swedish west coast. *Estuaries and coasts*, 41, 1712-1731.