

5 **Zusammenfassung:**

Die Autoren dieses Artikels, deren Pflanzenkulturen sich vorwiegend aus Sumpfstängelpflanzenarten submerser Phase zusammensetzen, stellen das zentrale Dogma der pflanzenbetonten Aquaristik, nach der u.a. die Gesamthärte - definiert nach dem deutschen Waschmittelgesetz und gemessen in $^{\circ}\text{dH}$ - eine Stellweiche für produktiv "pflanzenweiches" Wasser darstellt, in Frage. Diese entbehrt bis heute nachvollziehbarer Legitimationen. Es konnte anhand einer einfachen Experimentphase als Nebeneffekt aufgezeigt werden, dass es sog. "Weichwassermakrophyten" aquaristisch nicht geben kann, da derart betitelte Pflanzen gemäß obiger Beschreibung und: welche hinsichtlich der Kultur jahrzehntelang als "Problem"- oder eben "Weichwasserpflanzen" galten, erfolgreich temporär oder dauerhaft hohen (Waschmittelgesetz-) Wasserhärten expositioniert wurden. Sie zeigten unter den folgend beschriebenen Parametern der Versuchsreihe dennoch dauerhaft gute Wuchsergebnisse in habitueller Quali- und Quantität, die bisher - zumindest hobbyistisch- sämtlich undokumentiert sind.

Pflanzenaquaristisch "produktives Wasser" orientiert sich- neben der zu differenzierenden Betrachtung eines jeweiligen Aquarientyps- an hauptsächlich: 1) frei verfügbarem CO_2 , 2) Lichtquantität, 3) über die Verfügbarkeit der Makronährstoffe N, P und K, samt Spurenelementen, 4) dem Maß der Hydrogencarbonat-Ionen ($\text{Ca-}/\text{MgHCO}_3^-$) und 5) dem **Verhältnis** der Kationen Calcium (Ca^{2+}) Magnesium (Mg^{2+}) und Kalium (K^+) **zueinander**. Gerade Letzteres stellt einen offenkundig wesentlich grundlegenden Parameter einer erfolgreichen Dauerkultur von Sumpfstängelpflanzen unter Wasser dar, als bisher beschrieben und ist unabhängig von der Gesamthärte, formuliert durch das deutsche Waschmittelgesetz zu betrachten.

U.a. wurden alte und neue pflanzenphysiologische Richtlinien recherchiert, die sich mit jenen Verhältnissen auseinandersetzten und die beobachtete Phänomenologie der aquaristischen Hobbypraxis bestätigen. Sie werden von den Autoren im Alltag konsequent und produktiv angewendet und hier unter kritischer Diskussion unkontrollierter bzw. dauerhafter Dünge- Applikation von Kaliumverbindungen- bei im Zusammenhang mit Kalium- ungünstigen Ca/Mg-Gehalten vorgestellt.

35 **Einleitung:**

Die ambitionierte Beschäftigung mit submersen Sumpfstängelpflanzen (wir vermeiden hierbei Allgemeinbegriffe wie "Aquarien"- oder "Wasserpflanzen", da sie botanisch ungenügend sind: korrekt wäre die Bezeichnung: *Helophyten*; *Sumpfpflanzen*), die als "schwierig" und infolgedessen in der Hobbykultur häufig als "rar" galten, setzte uns in die Auseinandersetzung mit etlichen Wasserparametern, auf der Suche nach der "optimalen Kultur" hinsichtlich des Habitus und Vermehrungsrate unserer Pflanzen. Letztlich konnten diese eingeschränkt werden als u.a. quantitative Anteile der Kationen Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}) und Kalium (K^+) unserer Kulturwässer **zueinander**.

45 Begründung: die bloße Betrachtung einzelner Messgrößen o.g. Ionen in mg/l und damit, was z.B. Ca und Mg als Summenparameter in $^{\circ}\text{dGH}$ gemessen betraf, lieferte zu keinem Zeitpunkt unserer langjährigen Submerspflanzenkulturpraxis reproduzierbare Aufschlüsse über temporäre, unerklärliche Mangelsymptome an bestimmten Arten oder gar ganzen Beständen unserer Pflanzenaquarien.

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

50 Dies, trotz von uns als "günstig" erachteter Rahmenparameter produktiver Kulturbedingungen- resultierend auch aus der Motivation heraus, sich auch mit Pflanzendüngung unter Konsultation wissenschaftlicher Standardliteraturreferenzen über Pflanzenernährung zu beschäftigen (s. Quellen) - und der Bereitschaft, öffentliche Diskussionen mit ähnlich motivierten Aquarianern in Internetforen zu führen. Das
55 monovalente Kalium musste in unserer $> 0,5\text{W/l}$ Beleuchtungspraxis mitbetrachtet werden, da es als essentielles *Funktionselement* (es findet sich, im Gegensatz zu *Strukturelementen*, wie bspw. S, C, Ca, Mg, P, N etc. in keinerlei Morphostrukturen der höheren Pflanze wieder) bei der Ernährung auch unter submersen Bedingungen eine wichtige Rolle einnimmt. Allerdings abhängig von vielen anderen Messgrößen, die es
60 gilt, im Vorwege festzustellen (s.u.) und möglichst einzuhalten. Die anionischen Makronährstoffe PO_4^{3-} , NO_3^- und v.a. die des Ca^{2+} -/ Mg^{2+} -Hydrogencarbonates (Ca/MgHCO_3^-), schienen uns- mit Ausnahme des SO_4^{2-} und Cl^- hinsichtlich ihrer Wirkung in der Praxis seitens Mangel und Überflusses *hinreichend* bekannt. Sie wurden somit nicht primär fokussiert, müssen jedoch in den für uns neuen Zusammenhängen
65 erneut diskutiert werden (jedoch ohne Abhandlung in diesem Rahmen, da es diesen sprengen würde).

70 **Historisches**

1998 beschrieb KASSEBEER (1933-2013) die erfolgreiche Kultur von *Eusteralis stellata* (heute: *Pogostemon stellatus*) unter Verwendung säureentcarbonisiertem Ausgangswassers. Einer Methode, die der niederländischen Pflanzenaquaristik in den 1980er Jahren entstammte. Dort wurde von einigen Aquarianern - erfolgreich -
75 verdünnte Phosphorsäure (H_3PO_4) verwendet, um das Wasser "pflanzenfreundlicher" zu konditionieren. Kassebeer nahm jedoch 1 molare Salzsäure (1n = ca. 3,6%ige HCl). Die Hydrogencarbonathärtebildner Ca/MgHCO_3^- ("KH") und damit die Ca^{2+} / Mg^{2+} - Anionenpartner der Gesamthärtekationen wurden somit berechenbar "reduziert" (genauer: gegen H^+ und Cl^- -Ionen ausgetauscht) und ein spontaner, dieser damals als
80 "Problempflanze" titulierten Art, gelang nun auch unter lediglich $0,3\text{W/l}$ Licht und N/P-hypertrophen Kulturbedingungen in den fischzentrierten Aquarien Kassebeers. Diese Ergebnisse wurden damals in der Arbeitskreis Wasserpflanzen-Regionalgruppe Hamburg, in der der Autor lange Jahre Mitglied war, intensiv diskutiert und hinterfragt. Bezüglich des vordergründigen Erfolgs der Methode gegenüber nur weniger
85 betrachteter Species formulierte sich damals dennoch die folgende Frage:
Inwiefern limitieren Hydrogencarbonat (Ca/MgHCO_3^-)-Ionen das Wachstum einer Pflanze überhaupt?

90 **Vorweg**

Die physiologische Monocausalisierung (und somit Problematisierung) nur eines Parameters innerhalb der pH- CO_2 - HCO_3^- - Gesetzesmäßigkeit auf ein Wachstum/Nichtwachstum ist sinnlos und schon rein prinzipiell: quasi unmöglich (KINZEL, 1982).

95

100 **Weiter**

Recherchen in älterer Literatur brachten uns (dem Arbeitskreis) aber durchaus neue Erkenntnisse. Rudimentär fanden jene sogar in der Hobbyliteratur Erwähnung (KRAMER, 2009).

105 So können HCO_3^- -Ionen in vielfacher Hinsicht als Wuchsinhibitoren ("Hemmstoffe") fungieren, sobald ein gewisses Konzentrationsmaß überschritten wird. So hemmt es z.B. den Fe (Eisen)-Transport in den Gefäßsystemen einer Pflanze in die jungen Blattzellen, die dann unter Fe-Mangel leiden können (z.B. KINZEL, 1982, SCHILLING, 2000). Die bekannten Triebspitzennekrosen bei einigen *Ammannia*-Arten (nicht alle Arten zeigen sich dafür empfänglich; hier seien beispielhaft genannt: *A. pedicellata*, *A. crassicaulis*, *A. gracilis*) lassen sich vermutlich auch in den Kontext von HCO_3^- -Ionen, im Wechselspiel mit NO_3^- -N- stellen. Denkbar wäre, dass HCO_3^- die NO_3^- -Stickstoff-Assimilation hemmt und nicht, wie häufig behauptet, das NO_3^- per se für die Triebnekrosen ursächlich ist (Anmerkung: diese Hypothese bleibt Spekulation, da bisher nicht konsequent auf Richtigkeit recherchiert).

115 **Fraglich bis heute**

in welchem *Konzentrationsmaß* hemmt HCO_3^- das Wachstum konkret und vor allem: *unter welchen Randbedingungen?*

120 HCO_3^- stellt u.v.a. schließlich ein pflanzeigenes Kohlenstoff-Reservoir des zunächst gasförmigen CO_2 dar (sofern frei verfügbar). Jenes dient wiederum als Substrat für Enzyme (bspw. der *Carboanhydrase*), die bei mannigfaltigen Prozessen der Photosynthese agieren. Die Wechselbeziehungen von HCO_3^- - Ionen im Stoffwechsel einer Pflanze sind somit sehr vielfältig. Sie können hier ebenfalls nicht erschöpfend abgehandelt werden, da ein anderer Schwerpunkt anvisiert wird. Sicher wären sie einer eigenen interessanten Abhandlung wert die es gälte, aufgearbeitet zu werden. Als

125 Tatsache wird indessen unter erfolgreichen PflanzenaquarianerInnen längst akzeptiert, dass die Reduktion der HCO_3^- - Ionen- allgemein gemessen als Carbonathärte in °dKH- für produktives Pflanzenwachstum sehr dienlich ist. Ganz gleich, ob erreicht unter Einsatz von Mineralsäuren, Reversumkehrosiose oder Voll-, bzw. Teilentsalzung via synthetischer Austauschmedien.

130 Als Beispiel möge die Aquaristik von Takashi AMANO gelten: dessen legendäre Unterwasserlandschaften wurden u.a. unter höchstens 3°dKH betrieben. Vermutlich war auch ihm und seinen Mitarbeitern die Rolle des Hydrogencarbonats bezüglich des Pflanzenwuchses bekannt (?).

135 **Ein Puzzlestück in Sachen "optimalen Stängelpflanzenwuchses"**

Die Praxis der HCO_3^- -Ionenreduktion, deren zwangsläufig simultane Wirkung auf den pH-Wert und die damit u.a. verbesserte freie CO_2 -Verfügung für die submerse Pflanze, zeigte also zunächst wesentlich bessere Ergebnisse in der Dauerkultur vieler Gattungen, als ohne. Sie erwies sich somit damals als vorerst *entscheidender Schritt* in Richtung "pflanzenweiches Wasser"- oder moderner ausgedrückt: "pflanzenproduktives Wasser". Unabhängig von Eutrophierungsparametern wie N, P und K und v.a. der *Gesamthärte in °dH*.

140 (Anmerkung: Methodisch wusste sich in der Submerspflanzenkultur die hier beschriebene sog. *Entcarbonisierung* - also "KH"-Reduktion - unter Verwendung verdünnter Mineralsäuren, in Deutschland bis heute nicht allgemein durchzusetzen.)

150 **Ergebnisse**

Häufig ergaben sich ob der Methode jedoch nur *Teilerfolge*: etliche sog. "Problempflanzen" zeigten sich diesbzgl. offenbar resistent. Sie wuchsen weiterhin nur diskontinuierlich gut und/oder mit deutlichen Mängeln; trotz als damals "genügend" erachteter Versorgung mit den Makronährstoffen N/P/K, samt CO_2 und geeigneten Spurenelementen. Hier - unter Anwendung als damals (und bis heute!) zeitgemäß empfundener Komplexierung mittels diverser Chelatoren, wie EDTA, DTPA, HEDTA, EDDHA und NTA. Deren Komplexbildungskonstanten und pH- abhängige Zerfallsraten waren aus der Fachliteratur, respektive Datenblättern der Hersteller bekannt.

160 **Ausnahmen**

Vertreterinnen der Gattung *Hygrophila* aus der *corymbosa*-Gruppe schienen langfristig unter Entcarbonisierung sogar gänzlich zu kapitulieren. So wurde 2013, aus heutiger Sicht (2017) voreilig formuliert, dass jene Gattung gar obligat HCO_3^- -Ionen für gutes Gedeihen benötige. Unter diesen Umständen stellten sich neue Fragenkomplexe, auf die es aber längere Zeit keine nachhaltig befriedigenden Antworten gab. Zudem galt es in der pflanzenbetonten Aquaristik nachwievor eine Gesamthärte einzuhalten, die - nach dem deutschen Waschmittelgesetz- möglichst im "weichen" oder höchstens "mittelharten" Bereich lag (nach der Novellierung des „Gesetzes über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln -Wasch- und Reinigungsmittelgesetz -WRMG- gibt es nur noch "weich", "mittel" und "hart"). Vermutlich in der Hoffnung, dass sich dadurch Kulturerfolge in der Dauerhaltung ... "wie in der Natur..." einstellten. Deren Wässer zeigen sich bei Datenaufnahmen im Habitat sehr häufig mineralarm und werden somit, lt. Definition des dt. Waschmittelgesetzes, als "weich" eingeordnet. Ein Nebeneffekt war, dass hiermit gleichzeitig der bis heute zu beweisende Mythos der "Weichwassermakrophyten" aufrechterhalten blieb und somit der gleichzeitige Glaube an das zentrale Dogma der pflanzenbetonten Weichwasseraquaristik: nämlich der "dGH" als zentrale Stellschraube produktiven Pflanzenwachstums. Allerdings bis heute: ohne jegliche nachvollziehbare Rechtfertigung, und allgemein plausibler Nachvollziehbarkeit.

185 **Rezentes**

Mit den Kulturbemühungen um *Ludwigia inclinata* var. *inclinata* "pantanal", über deren ökologische Toleranzamplituden bzgl. wachstumsrelevanter Nährsalze nahezu nichts bekannt war) in Aquarien hoher Artendiversität, mussten neue Überlegungen stattfinden. Die Reduktion von HCO_3^- - Ionen o.g. Methode (und/oder mit Umkehrosiose-Wasser) war in unserer Praxis zwar längst gebräuchlich, dennoch wuchs diese Pflanze nur periodisch zufriedenstellend. Nach einer Vielzahl dokumentierter Versuche der Pflanze eine möglichst "optimale" Gesamthärte anbieten zu können, kamen wir zunächst auf das *Verhältnis* der Hauptgesamthärte-Bildner, Ca^{2+} und Mg^{2+} . Umfassende Übersichten zu diesen und anderen Wasserinhaltsstoffen finden sich bei BARR, der lesenwerte Einzelbeschreibungen und Zusammenhänge aquaristisch

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

wichtiger Wasserbestandteile unter Verwendung zeitgemäßer, empirischer Studien bietet. Wir verzichten hiermit auf das Vorkommen und Einzelwirkung der hier zu besprechenden Kationen und wenden uns zu deren Verhältnisse *zueinander*.

200 **Alte Richtlinien - Neue Erkenntnisse**

Bekannt waren und sind aus der Hobbyliteratur seitens der Gesamthärte "Empfehlungen" von z.B. Ca:Mg 2:1-4:1 und darüber hinaus. Doch zeigten sich diese in unserer Praxis, in der wir auch Kalium düngten, merkwürdigerweise nie allgemein validierbar bzgl. optimalen Pflanzenwuchses. Sie entbehrten außerdem bis heute - und

205 zum Zeitpunkt unserer Recherchen- jeglicher wissenschaftlicher Quellen oder anderer Legitimationen, die diese Richtlinien zu verifizieren vermochten.

Für das Alkali *Kalium*, dem man in der Pflanzenaquaristik (bis heute) durchaus große Bedeutung bzgl. des Wuchses zumaß, galten in der Laienliteratur - ebenso unabgesichert bzw. jemals öffentlich diskutiert - Angaben bis 15mg/l und darüber; oder in der

210 jeweiligen Höhe des NO_3^- -N. Leider stets unabhängig betrachtet von sämtlich allen anderen Rahmenbedingungen, die für eine funktionierende, produktive Pflanzenkultur ohne Mängel vonnöten sind, wie beispielhaft o.g. Parameter (Anmerkung: ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

Eine kontextuelle Betrachtung aller drei Kationen *zueinander* (Ca:Mg:K) war, unter

215 hobbyistischer Betrachtungsweise, bisher im deutschen Sprachgebrauch unbekannt bzw. in diesem bis heute nicht recherchierbar.

220 **Konsequenzen**

Aus den o.g. Überlegungen resultierte, dass nun genau *hierzu* Versuche an unseren Pflanzenbeständen stattfinden mussten, um etwaige Aufschlüsse bzgl. optimaler Pflanzenkultur zu erlangen.

Unsere Aquarien wiesen überwiegend dauerhaft stabile Bestände "seltener" und/oder

225 "empfindlicher" Stängelpflanzen bei großer o.g. Artendiversität- und Abundanz auf. Hierbei bei guter bis sehr guter Wuchsqualität seitens Habitus' und Produktivität pro Woche. Die Bestände wurden mit Fotoaufnahmen des Internets verglichen, wo häufig momentane Bestzustände der jeweiligen Species die Regel darstellen. In unserem Alltagsbetrieb zeigten sich jedoch temporär indifferente Mängelsymptome, die nicht

230 ohne weiteres eines klaren Schadbildes zuzuordnen waren.

235 **Versuche**

An diesen Becken wurde nun über einen Zeitraum von ca.18 Monaten der Jahre 2014/15 eine Versuchsreihe unterschiedlicher Konzentrationen und Verhältnisse von Ca und Mg durchgeführt- *nun auch unter Einbezug* von K(alium). Wichtig hierbei:

240 *unabhängig* von der GH in °d. Es kamen also durchaus "hohe" Gesamthärten laut dt.Waschmittelgesetzes zustande ("hart", "sehr hart"), samt K-Werten von z.B. 10-25mg/l. Das Wasser bestand aus Umkehr-Osmose-Permeat gleicher Anlagefabrikation (lediglich unterschiedlicher Fördermenge/Std.) und wurde mit gleichen Ca-/ MgSO_4 / NO_3^- - Formen entsprechend unserer Fragestellungen remineralisiert. Folgende

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

245 Begleitnährstoffparameter wurden versucht in möglichst gleicher Konzentration im 7Tage-Rhythmus unserer Aquarien einzuhalten:
20mg/l NO_3^- (Ca&Mg-Formen), 1mg/l PO_4^{3-} (beide wasserlösliche K-Formen) und 0,1-0,2mg/l Fe (III-EDTA) als Bestandteil sehr ähnlich (wennauch nicht 100% gleicher) selbstkonzipierter Spurenelementedünger. HCO_3^- -Ionenkonzentration, gemessen als Carbonathärte in °dKH, bis auf einen Rest von max. 0,5°-1°dKH. PH-Werte 5,0-6,0, mind. 250 20mg/l freies CO_2 (titriert). Bodengründe: Sandbodengrund (Autor S.)/Akadama- und ADA-"Amazonia- Soil" (Autor M.), ohne Düngezusätze.
Technik: Licht wurde mit 0,6-1W/l, Lichtfarben 840&940 ohne Pause über 12Std. verabreicht. Temp.: max. 24°C, Filterung: sog. "Geringfilterung", über handelsübliche Schwammfilterpatronen (30ppi/Poren pro inch) an beckeninternen Strömungspumpen 255 diverser Fabrikate ähnlicher Leistung.
Messungen: Die Kontrolle über den Verbrauch der hier angeführten Nährstoffe durch die Pflanzenbiomasse stellten überwiegend neue, halbquantitativ/kolomitretisch messende Wassertests der Fa. Macherey-Nagel dar. Gemessen gegen stöchiometrisch korrekt erstellte Vergleichslösungen, wurde die Reliabilität der verwendeten 260 Testreagenzien gewährleistet. Die Messwerte, die 2x wöchentlich erhoben und notiert wurden, dienten u.a. als Diskussionsgrundlage unserer Ergebnisse.
Nicht messbar waren N-Verluste durch simultane NO_3^- -Atmung/Denitrifikation und Ausfällungen von Ca^{2+} und Fe^{3+} - Ionen mit PO_4^{3-} unter Nicht-Teilwasserwechselbedingungen (sog."Altwasser"- dessen Definition bis heute jedoch 265 fehlt; die aktuellen Ausgangswasseranalysen seitens der Wasserversorger waren selbstverständlich bekannt).
Es erfolgten Messungen der wöchentlich abgeernteten Biomasse aller Pflanzenarten als Abtropfgewicht, und v.a. makroskopisch- qualitative Habitusanalysen ausgewählter Arten, wie der "*Pantanal- Ludwigia*". 270 (Zur Kritik der Methode s.u.)

275 **Ergebnisse**

Innerhalb des o.g. Zeitraums zeigten sich reproduzierbar folgende Erscheinungen: Offenbar *ungeeignete Verhältnisse von Ca zu Mg, K zu Ca (und umgekehrt)* und v.a. *K zu Mg*, bei denen K auf der Höhe des Mg und/oder dauerhaft darüber lag, produzierten unter unseren Kulturbedingungen - früher oder später - unspezifische 280 Mangelerscheinungen der meisten (jedoch nicht aller) Arten unserer Pflanzenbestände- trotz aus unserer Erfahrung erklärter, als ausreichend zu erachtender Gehalte an N, P und Spurenelementen. Dies führte bis hin zu temporär unerklärlichen Wuchsdepressionen der Gesamtpflanzenbestände der Aquarien.
285 In diesem Zusammenhang konnten auch nicht näher zu bestimmende Entfärbungen an einigen Arten registriert werden, die wir den Chlorose-Formenkreisen zuordneten- sich aber diagnostisch nicht sicher einkreisen ließen (zum Problem von Differenzialdiagnosen bzgl. Pflanzenmängel durch Laien s.u.). Gleiche Phänomene reflektieren bis heute zahllose AquarianerInnen durch ihre Aussagen und 290 Mängelfotobelege- unter Angaben der Wasserwerte ihrer Pflanzenbestände im Internet. Sie tragen diese in Webforen, in der Hoffnung auf Abhilfe der Kulturprobleme.

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

- 295 Dort fällt bei Analyse ihrer Wasserwerte auf: *repetitive Muster* an scheinbaren *Missverhältnissen* von Ca:Mg:K (neben zudem häufig hoher Konzentrationen an HCO_3^- -Ionen) im obigen Sinne; auch bei sonst, unserer Auffassung nach- adäquaten Begleitparametern, wie den hier erwähnten. Offenkundig bedeutete also ein *Verhältnis* dieser drei Makronährstoffe *zueinander* (Ca:Mg:K) eine physiologisch stimulierende/hemmende und damit: tragende Rolle des Pflanzenwuchses unter HCO_3^- -reduzierten Bedingungen (fraglich: grundsätzlich?).
- 300 Als diskutierter Konsens stellte sich bei uns währenddessen und öffentlich diskutiert, ein Ca:Mg:K- Verhältnis von 2-3:1:0,5- max.1 als qualitativ/quantitativ tragfähig und v.a.: *dauerhaft pflanzenproduktiv* heraus. Unter Anwendung dieses, als Arbeitstitel zu verstehenden, "Ca:Mg:K-Verhältnisses", gelangen zeitnah frappierend gute Ergebnisse der meisten unser kultivierten Species- begleitend mit hoher wöchentlicher
- 305 Biomasseproduktion- (fast) bar makroskopischer Mängel. Dennoch auftretenden Minderwuchs vermuteten wir eher in den (Miss-?) Verhältnismäßigkeiten der Spurenelementekompositionen und v.a. ihrer Chelatisierungen. Auch waren Allelopathien in der freien Wassersäule und/oder in der Rhizosphäre denkbar. Hier ist bei dicht besetzten Multikulturen zu rechnen;
- 310 messtechnisch sind sie für den Laien aber nicht nachweisbar und bleiben somit lediglich vage Vermutungen.

315 **Recherchen**

Unsere phänomenologischen Versuchsbefunde wurden einer Literaturrecherche unterzogen in der Hoffnung, Erklärungen zu finden (zum Problem einer tiefgehenden Literatursichtung als wissenschaftliche Laien s.u.).

Und:

- 320 *plausible Erklärungen der beschriebenen Phänomene bzw. der Ergebnisse unserer Reihen, konnten eruiert werden:*

325 **Grundlagen**

Bekannt waren *Antagonismen* (Wechselwirkungen) bspw. *Kompetitionen* (Hemmungen) zwischen den Ionen Mg und K, Ca und Mg, K und Ca. Diese Ionen konkurrieren bzw. interagieren- konzentrationsabhängig- untereinander gegenseitig in

- 330 **1)** der *Sorption* (SCHUBERT, 2018, SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2010) zu unterscheiden in: Bindung locker oder fest) *an* äußeren Zellgewebsstrukturen und **2)** bei der *Absorption* (sprich: der eigentlichen Aufnahme) *in* das Cytoplasma einer Gewebezelle. Hier: *nach* Passage der Zellmembran eines jeweiligen Gewebetyps, wobei die Zellmembran die eigentliche Selektionseinheit einer Aufnahme von z.B. Kat-oder Anionen darstellt. Dies gilt es grundsätzlich zu unterscheiden. Dabei kann es
- 335 untereinander zwangsläufig zu *direkten* oder auch *indirekten* Hemmeffekten kommen, die komplexe Ausmaße annehmen können. Jene zeigen sich jedoch i.a.R. reversibel, ändern sich die Konzentrationsverhältnisse (Ausnahmen: irreversible, intrazelluläre Hemmungen an Enzymen durch z.B. Schwermetalle *nach* Absorption). Ein Defizit des in der (Ab-) sorption gehemmten Ions wird folglich, früher oder später, als ein oder auch
- 340 mehrere Mangelsymptom(e) durch die Pflanze angezeigt. Hemmungsbeispiele zwischen

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

Kationen z.B. zwischen B(or) und Ca(lcium), Fe (Eisen) und Mn (Mangan) führen bekannterweise ebenso zu makroskopischen Wuchsmängeln, wenn nicht wiederum geeignete Mengenverhältnisse dieser Ionen *zueinander* vorliegen. Emprisch abgesichert ist bspw. der Antagonismus zwischen Mn und Fe- Ionen, da Mn erheblichen Oxidationseinfluss auf Fe ausübt (FINCK, 2007). Die letztgenannten Beispiele betreffen also wiederum die Kompositionen der Spurenelementedünger (s.o.). Diesbezüglich hat sich mittlerweile auch hier ein Fe:Mn-Verhältnis von 2:1 bewährt (wobei die Antwort auf die Frage des idealen Chelats noch diskutiert wird).

Weitere Erklärungsansätze

wurden in Form sehr alter und vermutlich: *vergessener* Gesetzmäßigkeiten der Agrarökonomie gefunden: sie könnten für die Submers-Kulturpraxis durchaus von Bedeutung sein, da sie zwanglos erwähnte Mangelphänomene unserer Reihen zu erklären wissen.

Wir überführen somit an dieser Stelle, mit als Laien gebotener Vorsicht, ernährungsphysiologische Grundlagenkenntnisse der Vergangenheit- bzgl. Daten primär terrestrischer Nutzpflanzen von heute- in die aktuell hobbyistisch genutzte Submers-Sumpfpflanzenkultur.

Begründung

Sumpfpflanzen (*Helophyten*), die den Großteil aller submers aquaristisch kultivierten Arten ausmachen, leben nur periodisch *in toto* untergetaucht. Ansonsten stellen sie reine *Hydrophyten* dar, deren Anteil innerhalb der aquaristischen Inkulturnahme jedoch marginal ist. Inwieweit es gerechtfertigt erscheint, beide evolutionsbiologische Lebensformtypen als "Wasserpflanzen" zu bezeichnen (und ernährungsphysiologische Analoga herzustellen), scheint hiermit fraglich. Erst recht, wenn diesbzgl. in der Hobbyistik über Jahrzehnte und bis heute keinerlei Differenzierungen vorgenommen wurde- jedoch häufig gleiche Fragen hinsichtlich des Wachstums und v.a.: der Nährstoffaufnahme/-Bevorzugungen bestimmter Gattungen in der submersen Phase gestellt wurden und werden.

Nachwievor ist in der Aquarienkultur z.B. allgemeinverbindlich und nachweisbar unklar, auf welchem Wege die Sumpfpflanze in ihrer rein submersen Zeit ihre Nährstoffionen bevorzugt aufnimmt: Über Blätter und Sproßachse- oder weiterhin über deren Wurzelsystem bzw. beidem.

Hier besteht eine Wissenslücke, die unserer Meinung nach, eine der Hauptaufgaben vergleichender Kulturhaltung unter nichtwissenschaftlichen Bedingungen darstellt und weitere motivierte Privat- Rechercheleistungen wissenschaftlicher Studien benötigt.

Aussagen bzgl. der Ca:Mg:K- Verhältnisse laut Literatur

Folgende Regeln konnten eruiert werden, die hier aus Platzgründen nur in den Grundaussagen vorgestellt werden können:

- 1) Der "Ca:Mg-Faktor" Oscar LOEW's (1909)
- 2) Das "Kalk-Kali-Gesetz" Paul EHRENBURG's (1919)
- 3) die "K/Ca+Mg ratio" (Witold GRZEBISZ, 2015)

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

390 LOEW (Agrikulturchemiker, Schüler Justus v. LIEBIG's) beschreibt den "Ca:Mg-"Faktor" (das Verhältnis) von 2:1 bis max. 3:1 an verschiedenen Nutzpflanzen unter Erläuterung der Ertragsleistung.

EHRENBERG (ebenfalls Agronom) beschreibt und erläutert *unspezifische Mängel* im Pflanzenwuchs- überschreitet der Ca-Gehalt den des K.

Wichtig: Letzteres Faktum ist, lt. Verfasser, auch *umgekehrt* zu verstehen.

395 Sog. *EHRENBERG-Effekte* (**Anmerkung:** jener Begriff ist international *nicht* gesichert und entstammt nur einer einzigen, deutschen, Lit.-Quelle: KINZEL, 1982. Sein Referenzstatus ist in diesem Zusammenhang bis heute also nicht gesichert), die sich um Ehrenbergs sog. "Kalk-Chlorose" drehen, sind multivariat: Sie werden indessen aber stets mit dem Missverhältnis von Ca:K -*und umgekehrt*- verbunden und v.a. auch unter den (Miss-)Verhältnismäßigkeiten zu Mg explizit beschrieben.

400 **3)** Witold GRZEBISZ (Abtlg. f. Agrikulturchemie und Umwelt-Biogeochemie, Univers. Poznan, Polen) erläutert im Kapitel über Magnesium im Handbuch der Pflanzenernährung BARKER's&PILBEAM's ebenso die komplexen Zusammenhänge der drei Kationen zueinander, die eine Entwicklung von Indices bedingten, die bei Düngung dieser drei Stoffe den optimalen Ertrag erbrachten. Der am häufigsten verwendete
405 Düngindex stellt demnach die *K/Ca+Mg Ratio* dar, ein Äquivalentverhältnis von Kalium zur Summe von Calcium und Magnesium.

410 Gleichsam gilt der bekannte Ionen-Antagonismus zwischen Mg und K, der sich gängig durch sämtliche wissenschaftliche Standardreferenz-Literatur der Pflanzenernährung zieht.

Werden diese Erkenntnisse miteinander gekoppelt, ergibt sich- modellhaft- folgendes Konstrukt:

415

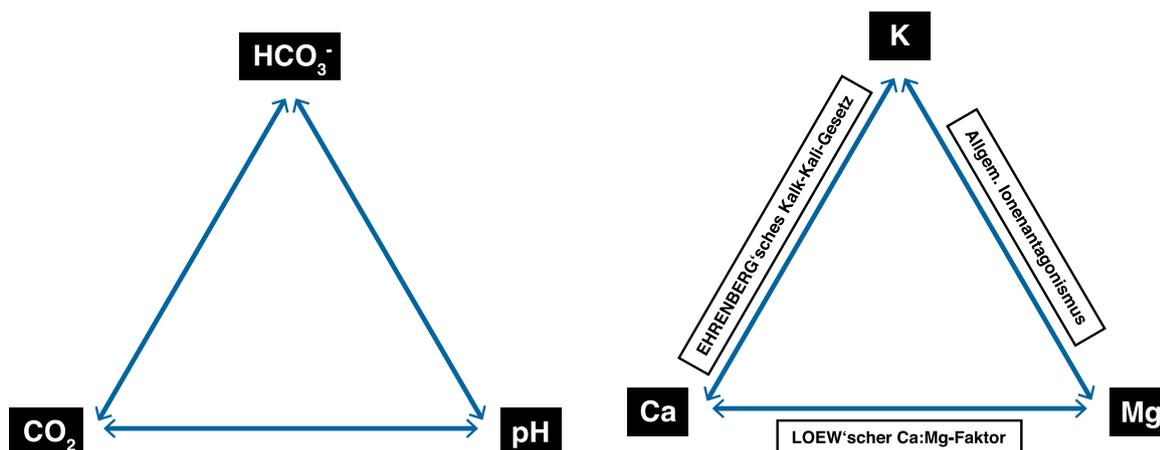


Abb.1: Das Verhältnis von CO_2 , HCO_3^- & pH und die Abhängigkeiten von Ca, Mg&K von- und zueinander

420

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

425 Aus obigem Modell (rechts) resultieren die multivariablen Interaktionen der hier besprochenen Ionen. Alle drei Kationen stehen in einer engen Beziehung zueinander in der Anlagerung/Aufnahme an und durch Pflanzenzellen. Es ähnelt stark der bekannten HCO_3^- - CO_2 - pH - Gesetzmäßigkeit (links): Ein Parameter beeinflusst den Anderen bzw. ist von diesem obligat abhängig.

430

435 **Folgerungen für die Praxis (2017)**

Aus den bisher beschriebenen Ableitungen stellen sich für uns (Stand 2017), folgende Forderungen an die Praxis, die wir für ein in den Grundzügen "pflanzenproduktives Wasser" formulieren:

440 **1)** ein möglichst geringes Maß an HCO_3^- -Ionen (1-3°dKH) und damit ein pH-Wert im leicht sauren bis sauren Bereich (pH 5,0-max. 6,5 - Begründung; s.u.).

2) ein Ca:Mg-Verhältnis von 2-3:1.

445 **3)** eine K-Düngung, die sich an dem von uns formulierten Konstrukt orientiert und durch wiss. Literatur bestätigt wird; d.h. Ca:Mg:K = 2-3:1:0,5-max. 1.

4) die Aspekte 1)&2) sind dabei *unabhängig von der dGH* seitens des deutschen Waschmittelgesetzes zu betrachten.

450

5) Eine Kaliumzufuhr sollte sich somit *maximal an der Höhe des Mg* orientieren, da es sonst- früher oder später- unter den hier beschriebenen Bedingungen - zu Verdrängungseffekten des Ca und/oder Mg, mit entsprechenden Folgen für das Wachstum kommen kann; *immer aber abhängig vom Vegetationstyp des jeweiligen Aquariums und dessen Begleitfauna.*

455

6) eine Fe- und Mn - Versorgung von 2:1, bei noch zu diskutierender Chelatform (Fe/Mn: DTPA, IDHA, EDTA oder andere, obig erwähnte Komplexbildner?)

460 Das übrige Rahmenparameter wie Lichtmenge, *freies* CO_2 , pH-Wert, Spurenelemente, Stickstoff und Phosphat dem individuellen Pflanzenbestand unter > 0,5W/l Licht angemessen verabreicht werden sollten, stellen weitere Voraussetzungen dar (fraglich: was ist als "*angemessen*" zu betrachten?). Die NO_3^- - N und Phosphat- Absorptionen durch die Pflanzenbiomasse sind in den Zusammenhängen der beobachteten Erkenntnisse sicher neuer Betrachtungen und Diskussionen wert. Sie müssen aber grundsätzlich auch Auseinandersetzungen mit den Themen "Messtechnik", "Ergebnisinterpretation der Messwerte im Zusammenhang anderer Wasserwerte" und "Düngung" standhalten. Ein multivariablen Feld, das hinsichtlich seiner Komplexität leider viele vor Probleme stellt (Erstellung von Vergleichslösungen, um Wassertests zu überprüfen z.B.).

470

475 **Weitere Folgerungen**

Mangelscheinungen, Unproduktivität und in der Folge (wahrscheinlich) auch: Algenaufkommen - bedingt durch den Minderoptimalbereich, in der sich die höhere, im submersen Status befindliche Pflanze befindet - die stets mit Algen konkurriert - sind vermutlich primär in den Missverhältnissen o.g. Angaben zu vermuten und somit bzgl. der individuellen Wasserwertausgangslage zu korrigieren. Hält man die hier vorgestellten Verhältnisse weitgehend ein, so sind auch Kulturen von als jeher "schwierig" geltenden Arten der Gattungen wie *Eriocaulon*, *Rotala*, *Ammannia*, *Syngonanthus*, *Tonina* und *Ludwigia* dauerhaft und problemlos bei weitgehender Mängelfreiheit und guter Produktivität realisierbar. Und dies auch ohne zwingend "niedrige" oder "mittlere" °dGH, bzw. "weichen Wassers". Terminaltriebnekrosen bei *Ammannia* unter NO_3^- -Gehalten $> 10\text{mg/l}$ scheinen heute erklärbar und sind Geschichte. Ebenso das Nichtgedeihen von Vertreterinnen der Gattung *Hygrophila* aus der *corymbosa*-Gruppe unter leicht sauren pH-Werten bzw. geringer Carbonathärtebedingungen.

490 **Diskussion und Kritik:**

Da hier mehrere Wasserparameter zugleich gleichzeitig tangiert, - manipuliert und hinterfragt wurden (zudem unter nonkonsequenter Standardisierung der Methoden), galt es - neben den reinen Ergebnissen und Methoden - folgende Begriffe zu diskutieren: "Weichwasser"; "Weichwassermakrophyten"; "Gesamthärte in °dGH" als fragliches Instrument, pflanzenproduktives Wasser definieren zu können; Makronährstoff-Kationen des Ausgangswassers; "Mangelsymptome"; „Kalium-Düngung submerser Pflanzenbestände"; "Pflanzendüngungskonzept". Im Folgenden müssen diese und v.a. auch unsere Versuche kritisch betrachtet werden.

500 **1) Kritik der Versuchsmethode**

Empirisch ließen sich in dem dargestellten Zusammenhang nur Versuche anstellen an ausgewählten Pflanzenspecies mit bekannter, großer ökologischer bzw. physiologischer Potenz (z.B. *Hygrophila polysperma*). Diese müssten standardisierten Kultur- und v.a. Kontrollversuchen unter Monokultur unterworfen werden, die hier definitiv nicht stattfinden konnten (Multikulturen mit zwangsläufigen Konkurrenzfaktoren, unterschiedliche Bodengründe, unterschiedliche Lichtqualitäten etc.). Hierzu müssten gleichzeitig mehrere Kulturgefäße der ausgewählten Pflanzenart gefahren werden - unter alternierenden Makronährstoffparametern- bei gleichen Licht, - Temperatur und Bodengrund-Werten und gleicher (quali- und quantitativer) Spurenelementversorgung. Einhergehend damit, müsste professionelle Wasser- und Trockenmasseanalytik betrieben werden. Derartige Versuchsaufbauten und Durchführungen sind für den Hobbyistiker jedoch unrealisierbar und finanzierbar. Somit fanden die Versuche lediglich an den Becken unseres Aquarianer-Alltags statt; allerdings an mehreren Becken gleichzeitig und überregional. Die (Pseudo-) Ergebnisse wurden dennoch tw. veröffentlicht, diskutiert und überwiegend positiv bestätigt (Internet).

520

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

525 **Gegenbeispiel:**

Nur ein einziges Aquarium als "Versuchslaboratorium" betrachten zu wollen, zudem mit z.B. Teilwasserwechseln aus der Wasserleitung unbekannter Parameterschwankungen, führt grundsätzlich zu keinerlei absicherbaren Erkenntnissen und entbehrt genauso jeglicher wissenschaftlicher Methodik wie auch hier. Zumal die hobbyistischen

530 Messmittel viel zu ungenau sind und gerade Teilwasserwechsel sicherlich Fehler hinsichtlich etwaiger Standardabweichungen provozieren.

Somit sind auch unsere Methoden (wennauch ohne Teilwasserwechsel), ihre Beobachtungen, v.a. *Schlussfolgerungen* im Prinzip bereits im Vorwege als zugegeben *massivst fehlerbehaftet* zu betrachten.

535

Zudem wurde eine Pflanzenart in den Fokus genommen ("*Pantanal-Ludwigia*"), die bis heute (nach 12Jahren!) nur unzureichend lange erfolgreich kultiviert werden konnte. Das gleiche Phänomene, in gleichem Zeitraum, aber (wiegsagt) überregional und an annähernd gleichen Artbeständen sehr ähnlicher Qualität beobachtet wurden, - könnten somit auch *reine Zufälle* darstellen.

540

545 **2) Modell/Konstruktkritik:**

Eine Kritik bezüglich der Analogisierung des "Ca:Mg:K-Modells" zum HCO_3^- - CO_2 -pH - Verhältnis scheint zunächst legitim. Sie wird darauf gründen, dass es sich bei dem Zweitgenannten um eine rein physikalische (also abiotische) Gesetzmäßigkeit handelt, bei der Ersteren *sensu stricto* nicht. Diesem ist jedoch formal nicht o.W. zuzustimmen, da

550

beide Dreiecks-Gesetzmäßigkeiten physiologische (und somit biotische) Prozesse einer Pflanze richtungsweisend im Sinne von "produktiv" oder "kontraproduktiv" ausüben, die in der Standardliteratur empirisch ausreichend gut belegt und somit als reproduktiv nachweisbar niedergelegt wurden.

555 **Weitere Begründungen**

beide Gesetzmäßigkeiten beeinflussen die Kinetik enzymatischer Ausstattungen einer Pflanze. Diese ist artspezifisch genotypisch - in mehr oder weniger variablen Grenzen - fixiert, wennauch durch das Individuum im Habitat in Grenzen regulierbar, was z.B. zu phänotypischer Plastizität führen kann. Sie stellt aber damit direkt/indirekt eine

560

positive oder negative Wachstumsbilanz in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt dar und garantiert somit ihren Selektionsvorteil z.B. gegenüber dem Konkurrenzdruck anderer Species am Standort (oder eben nicht).

565 **Ein Beispiel:**

Limitiert man im HCO_3^- - CO_2 -pH-Verhältnis die HCO_3^- -Ionen des Wassers, so wirkt sich jene Manipulation zwangsläufig auf den pH-Wert und auf die Verfügbarkeit des gelösten CO_2 aus. An diesen Komponenten partizipieren jedoch etliche Enzymaktivitäten der Pflanze. An den Beispielen der Substrate CO_2 und HCO_3^- z.B. das o.g. Enzym

570

Carboanhydrase (ohne weitere Erläuterung in diesem Rahmen aus Platzgründen).

Zudem werden Komplexbildungskonstanten der Spurenelementemetalle - abhängig von

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

den verwendeten Chelatoren- in pH-Bereichen unterhalb pH 7,0 optimiert bzw. garantiert (z.B. Fe-EDTA max. pH 6,5).

575 Auch hier:

Auswirkungen auf Enzymkomplexe, deren Zentralatome i.a.R. Metalle unterschiedlicher Ladungsvaleanz darstellen und von der regelmäßigen Zufuhr an Spurenelementen obligat abhängig sind.

580 Eine weitere Begründung in o.g. Zusammenhang wäre, dass Metallionen- vor Einbindung in organische Pflanzensubstanz- abiogen, also rein physikalisch und somit abiotisch vorlagen.

So also auch wie $\text{Ca}/\text{MgHCO}_3^-$, H^+/OH^- -Ionen des pH-Wertes und CO_2 -Moleküle des Wassers, innerhalb der bekannten pH- CO_2 - HCO_3^- -Gesetzesmäßigkeit.

585 Zudem beruhen (ab-)sorbitve Bindungen von Kat-und Anionen an äußeren Zellstrukturen auf physikalischen (abiotischen) Kräften.

Wir halten daher eine funktionale Gleichsetzung des oben vorgestellten "Ca:Mg:K-Dreiecks" mit der der HCO_3^- - CO_2 -pH-Gesetzmäßigkeit für zumindest (laienhaft) "angemessen"; unter Angabe eben aufgeführter Argumente.

590 **Zum Begriff des "Weichwassers" innerhalb der Pflanzenaquaristik**

Begriffe wie "Weichwasser" wurden in ökologischen Zusammenhängen mit "Weichwassermakrophyten" *per definitionem* international nicht ausreichend abgesichert. Sie orientierten sich bis heute an den Waschmittelgesetzen und entsprechend formulierten Härtegraden der jeweiligen Länder und Nicht-Langzeit-

595 Datenaufnahmen von Pflanzenfundorten (z.B. NOBEL, 1980). Somit waren auch Angaben in °dGH oder Begriffe wie "weich", "mittelhart" etc. in der Pflanzenaquaristik-hinsichtlich dauerhaft produktiver Kulturempfehlungen- nie allgemeinverbindlich dienlich (s.o.). Sie ermangelten stets an reproduzierbarer Belastbarkeit hinsichtlich der Kriterien "mängelfreier Habitus", samt quantitativer "Produktivität" über z.B. eines

600 Wochenzeitraums. Beweise hierfür stellen bis heute Pflanzenaquarien dar, die - nach dem Waschmittelgesetz - sehr "weich" oder "weich" betrieben werden (also an Ca/Mg-Ionen und somit auch HCO_3^- -Ionen reduziert), trotzdem qualitative

605 Wachstumsprobleme mit vielen sog. "Weichwasserarten" aufweisen - trotz adäquater, additiver Düngung mit CO_2 , N/P/K, Spurenelementen und ausreichend Licht (z.B. > 0,5W/l). Diese Inkompatibilitäten schienen bis heute unerklärlich - zumal lange Zeit der Faktor an Ca/Mg- HCO_3^- -Ionen-Konzentrationen ("°dKH") der Kulturwässer unberücksichtigt blieb.

610 **Konsequenzen**

Wir distanzieren uns heute von diesen Begrifflichkeiten:

Wir bemessen hinsichtlicher Empfehlungen einer Art an Nennungen reiner Größen in °dGH ohne dezidierte Angaben mengenmäßiger *Verhältnisse* von Ca:Mg:K zueinander, samt dem Grad der Reduktion der HCO_3^- -Ionen und o.g. Anionen keiner mehr Bedeutung zu. Sie erscheinen uns hinsichtlich produktiver Kulturempfehlungen als schlicht: aussagelos.

615 Erfolgswweise konsequenter Anwendung der hier recherchierten Gesetze bzw. Regeln im Sinne eines "pflanzenfreundlichen Wasserverhältnisses", beweisen die Aquarien der Autoren, die überwiegend "Weichwassermakrophyten"/"Spezialistenarten" (was sind "Spezialisten"- wie definieren sich diese?)/"Problempflanzen" beinhalten. In diesen

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

kamen über etliche Monate "hohe" Gesamthärten lt. Waschmittelgesetz zustande (z.B. *Syngonanthus u.a.* bei 30°dGH) - bei dennoch weitestgehender, dauerhafter Mängelfreiheit der Kulturen und guter bis sehr guter quantitativer und mängelfreier Biomasseentwicklung pro Woche.

625 Daher halten wir den Begriff der "Weichwasserpflanze" im Zusammenhang mit der Definition der dGH für kritisch- da irreführend.

630 **Zum Problem diagnostischer Pflanzenmängel durch Laien**

Differentialdiagnostische Mängelanalysen an Pflanzen sind selbst langjährigen Experten auf diesem Gebiet nicht immer *zweifelsfrei* möglich (z.B. BERGMANN, 2013). Somit sind voreilig erstellte (Pseudo-)Diagnosen naturwissenschaftlicher Laien grundsätzlich mit Vorsicht zu begegnen. Sie sind kritisch auf deren Fachkompetenz bzgl.

635 Systemzusammenhänge hin zu hinterfragen- zumal wenn ebenso voreilig Therapievorschläge zur schnellen Abhilfe der Symptome getätigt werden. Bedenklich weiterhin, wenn ohne jegliche Kenntnisse ernährungsphysiologischer Fakten und v.a. sorgfältig erhobener Parameterkenntnisse eines jeweiligen Aquariumtyps, dessen Dungestrategie und eine Einordnung auf seinen individuell formulierten
640 Problemkomplex- übereilt vermeintliche "Lösungen" erstellt werden wollen.

Zugegebenermaen stellt sich hier ein Problemkreis dar, der für uns Hobbyisten nicht leicht zu durchbrechen ist, da kaum jemand Fachmann auf diesem Fachgebiet sein dürfte.

645 **Zur Rolle des Kaliums innerhalb des hier vorgestellten "Ca:Mg:K-Verhältnisses" (korrekt wäre lt. Litertur die sog. "K/(Ca+Mg) ratio"):**

In den letzten 15 Jahren wurde in der aquaristischen Hobbyliteratur - aus heutiger Sicht: vorschnell- versucht, Kalium (K) als Makronährstoff in der $> 0,5\text{W/l}$ - Pflanzenaquaristik
650 eine *besondere* Rolle zuzuweisen. So wurde u.a. behauptet, dass K auch in vollaquatischer Phase unter den o.g. Lichtstärken in gleichem Maße assimiliert würde, wie NO_3^- -N. Somit seien Düngung und gar *Dauergerhalte* des Wassers an K grundsätzlich sinnvoll und "empfohlen". Vermutlich stammte letzte Aussage aus der
655 Bodenkundeliteratur und wurde unreflektiert auf den Status submerser Pflanzen projiziert ohne aber zu berücksichtigen, dass K (samt aller hier besprochenen Kat- und Anionen) in Bodenlosungsphasen rein terrestrischer Pflanzen bzgl. einer Aufnahme anderen Verhältnissen unterliegt, als in Böden, die dauerhaft vernast oder überflutet sind (o.w. Abhandlung; s. bodenkundliche Lit.).

660 **Folgen einer unüberlegten K(alium-) Düngung**

Die Folge war, dass bis heute quasi inflationär "Ratschläge" zur K-Düngung für alle möglichen Pflanzenaquarientypen erteilt wurden und werden. So ist K heute gar in fast jedem handelsüblichen Spurenelemente-Dünger enthalten, der *per se* eigentlich nur selbige enthalten sollte, da sonst kein "Spuren"-Dünger. Vermehrt fanden jene
665 Ratschläge z.B. unter "Empfehlungen" von Kaliumnitrat (KNO_3) statt. "Begründet" wurden diese Ratschläge u.a. damit, dass jene Verbindung angeblich zur gleichzeitigen Deckung des NO_3^- -N und K-Bedarfs einer ... "Wasserpflanze..." diene (ohne jegliche Differenzierung zum Pflanzen- und Aquarientyp). Als "Beweis" wurde u.a. angeführt, dass die prozentuale Verteilungen der Moleküle dieser Verbindung besonders "günstig"

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

- 670 ausfiele (formale Stoffmengenangaben von KNO_3 in %: 39%K, 61% NO_3^- ; FINCK, 2007) und diese daher eine "ideale Kombination" beider Pflanzenbedarfe gleichzeitig darstelle. Daraufhin war eine bemerkenswerte Verbreitung und Anwendung jenes Düngesalzes in der Pflanzenkultur zu registrieren.
- 675 **Allerdings:**
mit überaus sehr unterschiedlichen Kulturerfolgen - auch bei sonst angemessenen Begleitparametern, wie den hier beschriebenen.
Die Ergebnisse von Erfolg und Misserfolg einer unüberlegten K-Düngung überführen wir heute mit Vorsicht in das hier vorgestellte Ca:Mg:K-Verhältnis und verweisen auf die o.g. abgesicherte Literatur, die seit Jahrzehnten empirische Fakten über die Zusammenhänge der Ionen Ca, K & Mg zueinander, liefert.
- 680
- 685 **Vorweg:** Die o.g. Aussagen in hobbyistischer Literatur bzgl. einer - unüberlegten - KNO_3 -Düngung, weisen mehrere Grundlagenkenntnis-Defizite auf, die einer Korrektur bedürfen.
- 690 **Zunächst zu den richtigen Aussagen**
1) Kalium stellt als *Makronährelement* eines der wichtigsten Nährstoffionen der höheren Pflanze dar und ist somit *essentiell* (sämtliche Standardliteratur der Pflanzenernährung).
- 695 **2)** Die Aufnahme von Kat- und Anionen durch die Pflanze erfolgt mehr oder weniger in äquivalenten Mengen (z.B. SCHILLING, 2000).
- 700 **3)** Kalium *kann* in der Submerskultur unter *bestimmten* Kulturbedingungen gedüngt werden. Hier z.B. in Pflanzenaquarien ab 0,5W/l, die über eine große Artenvielfalt - bei gleichzeitiger Individuenmenge und hoher wöchentlicher Biomasseentwicklung verfügen (Autoren).
- 705 **Einschränkungen**
Grundsätzlich gilt es jedoch "Pflanzenaquarien" aufgrund ihrer zwangsläufig großen Heterogenität zu differenzieren:
nur z.B.:
- 710 - 0,3W/l- Aquarien
- ab 0,5W/l- Aquarien
- hochtemperierte Aquarien (>26°C; "Diskusbecken")/niedrig temperierte Becken (<23°C)
- Aquarien mit oder ohne regelm. Teilwasserwechsel
- Aquarien mit/ohne Filterung/"Geringfilterung"
- 715 - Aquarien unterschiedlichster Kies-/Sandkörnungen/"soil"-Bodengründe
- reine oder überwiegende *Echinodorus/Cryptocoryne/Bucephalandra/Anubias*-Becken
- reine Stängelpflanzen-Becken
- Monokulturen systematisch niederer oder höherer Pflanzen

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

- 720 - sämtliche Zwischenformen mit oder ohne Bodenheizung
- Hoher/niedriger Fischbesatz (hinsichtlich der Ausscheidungsbilanz der Stoffe N&P zu unterscheiden in: omnivore/carnivore, z.B. Characiden-/Perciden-/Cyprinidenbesatz)
- N/P/K-Düngung nach dem sog. "Estimative Index" (unlimitierte Düngung bei regelm. 50%-Teilwasserwechseln)
- P-limitierte Düngung
- 725 - etc.pp.
- 730 **Unrichtig und legitim zu hinterfragen ist:**
1) Das K von der Pflanze in *submersum Status* quantitativ in gleichem Maße aufgenommen wird, wie NO_3^- -N (s.o.). Derartige Behauptungen haben sich an wissenschaftlichen Fakten der Standardreferenz-Literatur zu messen, woran sie bis heute ermangeln und so den Anwendern, die dies behaupten, schuldig bleiben.
- 735 **Begründung:**
Die Aufnahme erfolgt
a) nicht zwingend *zeitgleich*,
b) gilt die Regel (bis auf wenige Ausnahmen): *Absorption von Kationen vor Anionen* (SCHILLING, 2000). Hier allerdings (wie häufig die Regel), bei terrestrischen
- 740 Nutzpflanzen, die beobachtet wurden.
2) Das "Empfehlungen" von K-Gehalten, die sich an der Höhe des jeweiligen NO_3^- -N orientieren - oder bis 15mg/l und darüber, *dauerhaft* produktiv tragfähig sind und sich unkritisch als Allgemeinaussage formulieren lassen; erst recht unter der Vernachlässigung der hier zitierten Gesetzmäßigkeiten und Interaktionen von Ca:Mg:K.
- 745 **3)** KNO_3 unbedacht als Düngesalz-"Dauerlösung" gleichzeitiger N&K-Bedarfe für quasi jeden Pflanzenaquarientyp zu empfehlen. Dies unter Begründung, dass die prozentuale Verteilung von K: NO_3^- -Ionen besonders "günstig" ausfiele.
- 750 **Unrichtig,**
da bereits die O-Anteile eines NO_3^- -Ions (NO_3^- : *30-Atome pro N-Atom*) in die Stickstoff (N)- Bilanz einer Pflanze *nicht* mit eingehen. Das für die höhere Pflanze wichtige (und *richtige!*) Verhältnis reinen N (Stickstoff) zu K (Kalium) beträgt hier nämlich: **13%N:38%K** (FINCK, 2007) - ein Verhältnis von **1:3**. KNO_3 stellt somit einen **Kalium-**
- 755 Dünger mit - im Verhältnis zu **N** - deutlich geringerem N-Anteil dar.
Hieraus folgt, dass unkontrollierte, regelmäßige Düngeapplikationen mittels KNO_3 früher oder später zu K-Anreicherungen des Wassers führen können. Sie stellen sich ein, sobald intrazelluläre Sättigungszustände der Pflanzenbestände vorliegen. Jene können-
artabhängig - zeitlich unterschiedlich lang andauern, da sich offenbar viele
- 760 Pflanzengattungen des sog. *Luxuskonsums* bedienen: der Aufnahme eines Nährstoffs über den situativen Bedarf hinaus. Bei derartigen Prozessen kann es gar zu Verdrängungen anderer, wichtiger Kationen *aus der Zelle hinaus* kommen (MENGEL, 1991, 2001). K kann also i.d.F. das Ca:Mg-Verhältnis wesentlich beeinträchtigen und somit die o.g. *unspezifischen Mängel* bis hin zu chlorotischen Schadbildern hervorrufen-
- 765 auch wenn für die kultivierte Pflanze genügend frei verfügbares Eisen, Stickstoff, Phosphat, CO_2 , O_2 und Licht zur Verfügung stehen. Deren Mangelgehalte im Wasser können oft zu wohlbekanntem Schadbildern führen, welche häufig dem Chlorosekreis

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

zugeordnet werden. Dieser umfasst jedoch viele, häufig indifferent erscheinende Schadbilder.

770 **Können** wohlgemerkt:

Wenn nicht der wöchentliche Realbedarf des K am individuellen Pflanzenbestand eruiert und genauso regelmäßig überprüft wird - genau wie der des N und P.

775 Kalium sollte also, nach unserem heutigen Verständnis der Verhältnisse (Ende 2017), mit Augenmaß auf den individuellen Pflanzenbestand verabreicht werden. Erst recht unter Verwendung von KNO_3 . Für sicher festgestellte K-Mängel (Frage: Diagnose-Sicherheit?) stellten Kaliumsulfat (K_2SO_4) und Kaliumcarbonat (K_2CO_3) eine Alternative dar, zumal sich der im KSO_4 enthaltene Schwefelanteil (S) in der aquaristischen Praxis bisher als unkritisch erwies.

780 **4) Dauerhafte** Kaliumgehalte des Aquarienwassers als Produktionsfaktor etablieren zu wollen:

Sie sind aquaristisch bisher in keinster Weise reliabel hinterlegt/bewiesen, respektive ausreichend öffentlich diskutiert worden. Sie stellen daher zu hinterfragende Alleinaussagen Einzelner dar, die dies subjektiv favorisieren. Somit bedürften diese

785 Thesen eigentlich einer objektiven Überprüfung.

5) Allgemeingültige "Optimalgehalte" (s.o.) zu empfehlen, erweisen sich -hinsichtlich der unterschiedlichen Pflanzenaquarientypen- ebenso mehr als fragwürdig und sind deshalb auch hier kritisch zu hinterfragen.

790

6) Die Anreicherung reiner Spurenelementedünger mit Makronährstoffen, wie dem des Kaliums: Die Problematik besteht hier in der Tatsache, dass hobbyistisch genutzte Dünger nicht der Deklarationspflicht unterstehen. So gibt es viele handelsübliche "Wasserpflanzendünger", die Kalium beinhalten- jedoch häufig ohne Angabe, wieviel ml des Inhalts wieviel mg/l Kalium in das Aquariumwasser einbringen. Hierin liegt die Gefahr, dem Wasser unnötige Kaliumbeiträge bei zu liefern, die das Ca:Mg-Verhältnis stören könn(t)en. Erst recht, wenn der Anwender nicht um die Ausgangs- und Aquarienwasserwerte des K weiß.

795

800 **Zur Praxis unserer Kalium- und Stickstoffdüngung:**

Kalium-Düngung (K):

Bisher bewährten sich bei uns K -"Stoßdüngungen" mittels KSO_4 oder KCO_3 . Weitere Düngevarianten bestünden in der Darreichung der PO_4^{3-} - Formen

Kaliumhydrogenmonophosphat (KH_2PO_4) oder Dikaliumhydrogenphosphat (K_2HPO_4).

805 Hierbei wird jedoch prozentual wesentlich mehr PO_4^{3-} verabreicht, als evtl. gewünscht. Die mengenmäßigen PO_4^{3-} -Anteile werden in der Pflanzenquaristik bis heute umstritten diskutiert.

Die Düngegaben können unter den hier beschriebenen Ausgangsbedingungen *unregelmäßig* erfolgen - sind aber grundsätzlich immer abhängig des vorliegenden

810 Aquarientyps/Pflanzenbestands, dem Habitus der Pflanzen und der des aktuellen Kalium-Messwerts zu betrachten.

815

820 **Begründung:**

K wird von der Pflanzenzelle im Sinne der erwähnten Luxusaufnahme, in hohem Maße schnell über meist passive als auch aktive Aufnahmemechanismen seitens der Zellmembranen (Plasmalemmae) absorbiert, transportiert und zeigt sich - ob dessen

825 (sämtliche Standardliteratur). Es wird somit von der Pflanze bedarfsgerecht in alle Richtungen der Wurzel, des Sprosses und der Blätter verlagert, sofern es nicht bereits in der Sorption (s.Ca:Mg:K-Verhältnis) an äußeren Zellgeweben bzgl. dessen Aufnahme behindert wird. Eine vorher berechnete Düngung könnte somit mit dem

830 Teilwasserwechsel erfolgen; grundsätzlich gilt es jedoch vorher zu ermitteln, ob K wirklich unbedingt zugeführt werden *muss*. Logischerweise sollte zudem ein eventueller K-Gehalt des Ausgangswassers bekannt sein.

Problematisch kann sich die K-Versorgung bei Ca/Mg-mineralarm gefahrenen Aquarientypen auswirken, deren Begleitfaunen häufig geringe Konzentrationen an Ca und Mg einfordern. Hierbei kann es - unter Viel-Licht-Bedingungen (eine

835 allgemeingültige Definition für sog. "Starklicht" fehlt bis heute) zu K-Mangel kommen.

840 **Das eventuelle Dilemma unter Ca/Mg- armen Ausgangsbedingungen:**

eine "Vorratsdüngung" entfällt, da Mg bereits sehr niedrig. So könnten unter Messungen des Verbrauchs z.B. Tagesdosen an K verabreicht werden, bis sich ein K - Sättigungszustand des Pflanzenbestandes eingestellt hat; unter begleitender Analyse der Wuchsquali- und Quantität.

845 **Stickstoff - Düngung (NO_3^- - Form)**

Wir praktizieren Nitrat (NO_3^-)- Stickstoffdüngung. Dies aus Gründen guter Erfahrungen hinsichtlich der Produktivität und des Habitus' unserer Kulturen. Physiologisch "sauer" wirkende N-Düngungen über NH_4^+ oder Urea-Verbindungen mag und soll hier aus Komplexitätsgründen nicht thematisiert werden. Sie beweist aber durchaus

850 unbestrittene Tragfähigkeit, da sie seit mittlerweile vielen Jahren von vielen PflanzenaquarianerInnen erfolgreich angewendet wird, mit entsprechend guten Habitus-Ergebnissen.

In diesem Zusammenhang sollte berücksichtigt werden, dass bei gleichzeitiger Begleitfisch,- Garnelen und Schneckenkultur immer auch kurzzeitig NH_4^+ - Verbindungen

855 im Wasser vorhanden sind, bevor diese in den mikrobiellen N-Kreislauf übergehen (Nitrifikation). Sie können sich somit durchaus auf eine positive/negative Stickstoffbilanz einer Pflanzenart auswirken.

Auch hier: je nach mengenmäßiger Größenordnung (Stichwort: " NH_4^+ -N-Präferenz" vs." NO_3^- -N-Präferenz"; WALSTADT, 2005).

860

865

870 **Folgerungen für eine NO_3^- -N - Düngung**

Zeigen sich *sicher* diagnostizierte N-Mängel des Pflanzenbestandes, sind z.Zt. im Sinne des Ca:Mg:K-Verhältnisses, Calciumnitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) oder Magnesiumnitrat ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) empfehlenswert. Beide Formen stell(t)en sich bisher in unserer NO_3^- -N-Düngung in ihrer Applikation als pflanzenproduktiv und nebenwirkungsfrei dar. Sie

875 sollten jedoch im Verhältnis von Ca:Mg: 2-3:1 und v.a. zu K stehen.

880 **Begründung für eine CaNO_3^- -Düngung (lt. Literatur)**

Aus dieser Stickstoff ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) - Verbindung wird nach Dissoziation im Wasser, abweichend o.g. Regel (Kation vor Anion), das NO_3^- - Anion bevorzugt aufgenommen (SCHUBERT, 2011). Das Verhältnis Ca:N beträgt für $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: Ca **18,8%** : N **14,3%**. Es stellt damit ein bereits gänzlich anderes Verhältnis zu dem des Kaliumnitrats (KNO_3)

885 dar.

Da sich das hier propagierte Ionen-Verhältnis pflanzenphysiologisch offenbar unabhängig des Waschmittelgesetzes und damit der Gesamthärte in °dGH bewegt, bleibt eine Angst vor der gefürchteten, ... "wuchshemmenden Aufhärtung des Wassers" bei diesen Salzverbindungen unbegründet. Allerdings auch hier: immer abhängig vom

890 Aquarientyp und dessen Begleitfauna.

895 **Zur Frage bezüglich eines "neuen Makronährstoffkonzepts" in der Pflanzenaquaristik.**

Rückblickend auf die bisher vielfachen und sehr positiven Rückmeldungen vieler PflanzenaquarianerInnen hinsichtlich des hier vorgestellten Verhältnisses von Ca, Mg und K (Internetdiskussionen) liegt der Gedanke nahe, aus unserem (noch weiter zu diskutierenden) Konstrukt ein neues "Konzept" generieren zu wollen. Dies scheint verlockend, denn die Kultur vieler submerser Makrophyten erscheint nun wesentlich einfacher, ja erfolgreicher als zuvor und zwar v.a. *unabhängig* von der Gesamthärte. Ein Umstand, der hobbyistisch interessant sein und für viele Pflanzenaquarianer evtl. *neu* sein dürfte.

905 Wir sehen jenes jedoch dennoch noch kritisch- unter Aufzählung folgender Argumentationspunkte:

1) Ist die willkürliche Kopplung vorwiegend zweier, unabhängig voneinander entstandener, naturwissenschaftlicher Agrarökonomie-Gesetzmäßigkeiten als laienhaftes Konstrukt zu betrachten und somit streng genommen: unwissenschaftlich.

910 Es muss hinsichtlich dessen Belastbarkeit

a) von noch breiterer Basis der Hobbyistik aus bestätigt werden, als es bisher der Fall war.

b) weiter- möglichst empirisch- untersucht werden.

- 915 2) Stellen unsere Ergebnisse lediglich Verifizierungen der in der Literatur gefundenen Gesetze/Regeln/Verhältnisse dar- sie sind also grundsätzlich nicht als etwas "Neues" anzusehen.
- 920 3) Reagieren längst nicht alle von uns submers kultivierte Gattungen auf dieses Konstrukt: etliche Species üben darüber offenkundig vollkommene Unabhängigkeit aus. Die Gründe hierfür sind noch unklar und bedürfen weiterer, zu beantwortender Fragestellungen/Untersuchungen.
- 925 4) "Konzepte" hegen Allgemeingültigkeitsansprüche. Derartige Bestätigungen außerhalb des deutschsprachigen Internets liegen aber noch längst nicht erschöpfend vor (s. "Fragestellungen").
- Somit distanzieren wir uns auch von dem durch KRAMER (2014) postulierten, "Neuen Makronährstoffdüngekonzept", da bis heute abschließende und zielführende Diskussionsergebnisse v.a. bezüglich begleitender Mengen und *Verhältnisse* der Anionen NO_3^- und PO_4^{3-} im Kontext des hier Beschriebenen fehlen und nicht besprochen wurden.
- 930 **3) Das Problem der eingehenden Literaturrecherche:**
- Dem naturwissenschaftlichen Laien dürfte es nicht gelingen, die ungeheure Vielzahl an Literatur die sich mit Pflanzenernährung beschäftigt, zu bewältigen. Dies können nur Berufswissenschaftler und Studenten, die aufgrund ihrer Profession und/oder momentanen Ausbildungsstandes einen Überblick über vergangene und heutige
- 935 Erkenntnisse besitzen, leisten. Nur sie können selbige in den Kontext aktueller, internationaler Fragestellungen und Diskussionen einordnen und unter Einbezug und Vergleich ihrer eigenen Arbeitsergebnisse als referenztauglich einstufen. Somit kann auch die von uns konsultierte Sammeliteratur (i.d.R. Standard-Sammellehrwerke von und für Wissenschaftler(n)) nicht lückenfüllend sein, da die gelesene Übersicht über die zugrundeliegende Primärliteratur der Buchtexte fehlt und somit die Grundlage für eine auch nur halbwegs angemessene, fundierte Diskussion. Eine umfassende Beschäftigung indessen bedeutete wiederum "Studium", welches in der - nichtwissenschaftlichen- Alltagsberufstätigkeit aus Zeitgründen nicht zu leisten ist.
- 940 Zudem stellt die Anschaffung spezieller Literatur einen nicht unerheblichen Finanzierungsfaktor dar: nicht wenige Werke sind außerordentlich kostenintensiv; der Einblick geschieht somit häufig lediglich über die Bestände von Universitätsbibliotheken und/oder ihren teuren Suchmaschinen. Somit befinden wir uns in einem Erkenntnisdilemma und müssen uns damit abfinden, wahrscheinlich nie Antworten auf etliche unserer Fragen zu erhalten - auch wenn diese längst beantwortet - in einer der
- 945 zahlreichen Publikationen ungezählter Büchereien stehen und auf Entdeckung durch Interessierte warten. Dies betrifft insbesondere auch auf neueste Ergebnisse von Studien, deren Veröffentlichungsschriften (Namen der Publikationsorgane) verborgen bleiben, da uns schlicht: unbekannt.
- 950 Tröstlich erscheint indes, dass es dennoch unermüdlich recherchierende Aktivisten gibt, die weder Zeit noch Kosten scheuen, um wissenschaftliche Fakten dem pflanzenaquaristischen Hobby-Interessentum zugänglich zu machen und diese ins Feld gegen althergebrachte Meinungen führen (z.B. MIEHLE (D), BARR (USA). Diesen gebührt Dank ob ihres Engagements.
- 955

965 **Fragestellungen:**

1) Unter welchen Bedingungen wird das "Ca:Mg:K-Verhältnis" *langfristig* außer Kraft gesetzt, mit dennoch *dauerhaft* mängelfreiem Wuchs bei gleichzeitig hoher, wöchentlicher Produktivität als Kriterium?

970

2) Inwiefern müssen Neuüberlegungen bezgl. der begleitenden Anionen-Versorgung und v.a. *deren Verhältnisse* in Form von z.B. NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{3-} und Cl- Verbindungen stattfinden?

975

3) Wie gelingt eine praktikable Einstellung der hier besprochenen Wasserparameter- auch unter problematischer Ausgangswasserlage ("hohes" Maß an N, P, K, Na- und HCO_3^- - Werten im Leitungswasser)?

980

4) Wie ist mit der aquaristisch üblichen Begleitfauna umzugehen, die häufig mineralarmes Wasser einfordert?

5) Bis zu welchen Messwertgrößen der Ca:Mg:K-Anteile zueinander zeigen sich submerse Sumpfstängelpflanzen dauerhaft tolerant (ökologische Potenz)?

985

6) Wie ist hinsichtlich des "Verhältnisses" mit den sehr unterschiedlichen "soil"- Bodengründen umzugehen und deren Kationen-Austausch-Kapazitäten?

990

7) Wie lässt sich konstruktiv die offenkundig K-"lastige" Düngestrategie US-amerikanischer Pflanzenaquarianer diskutieren, die ebenso sehr gute qualitative Wuchsergebnisse an submersen Sumpfpflanzenkulturen beweisen?

995

Ausblick:

Dem Leser, der bisher die Ausdauer besessen hat diesen Zeilen zu folgen, gebührt Anerkennung!

Grundsätzlich scheint in der Aquaristik zu gelten:

"*Vieles kann- nichts muss*". Sie stellt schließlich keine Wissenschaft dar.

1000

So muss auch das hier vorgestellte "Ca:Mg:K-Verhältnis" nicht in jeder Kulturpraxis unbedingt sofort funktionieren, zumal hier nur drei kationische Makronährstoffe zueinander betrachtet wurden- ohne dezidierte bzw. begründete

1005

Begleitanyonienverhältnisse (Wiederholung). Eine Beschäftigung damit ist jedoch lohnenswert und dient einem weiteren "Puzzle"-Stück in Sachen: produktiver, mängelfreier Pflanzenaquaristik. Von daher sind Rückmeldungen an die Autoren wertvoll.

1010

1015 **Ausblicke in die Zukunft:**

Der Zukunft der hobbyistisch-aquaristischen Submerspflanzenkultur gehören u.v.a. weitere, möglichst unter standardisierten Versuchen abgesicherte und unabhängig voneinander erhobene Kenntnisse über die Verhältnisse von Nährstoffen *zueinander*. Dies, um das Pflanzenwachstum noch weiter zu optimieren - bei gleichzeitiger

1020 Minimierung des Verbrauchs durch unwissentliche "Totpflege" submerser Species.

- Insbesondere könnten auch die Verhältnisse der Spurenelemente zueinander und v.a. ihrer *Chelatisierungen* in Düngern neu betrachtet werden:

1025 ein Umstand, der in Internetforen längst seit vielen Jahren konstruktiv diskutiert und in der Praxis durch einige Wenige auch erfolgreich umgesetzt wird.

Dazu gehören u.a. die Zerfallsraten von Chelatoren unter den individuell gegebenen Lichtstärken im Aquarium (besonders Fe-EDTA & Fe-DTPA), samt der Beachtung der Umweltproblematik bspw. von EDTA in Düngern.

1030 Hier gilt es unserer Ansicht nach, noch viel Entwicklungs- bzw. Recherchearbeit zu leisten, da die Hobbyistik und ihre "Erkenntnisse" der Wissenschaft stets hinterher läuft, die mit abgesicherten Fakten sicherlich zeitnah weiterhelfen könnte.

- Das weitere Interesse, wissenschaftliche Literaturrecherche zu betreiben und jene Erkenntnisse bzgl. aquaristischer Fragestellungen öffentlich zu teilen bzw. für die Allgemeinheit didaktisch aufzubereiten. Hierzu zählen v.a. auch die immer noch nicht abgeschlossenen Antworten auf Fragen, die sich um die generelle/bevorzugte Aufnahme von Nährstoffen unter submersen Bedingungen drehen.

1035 Die diesbezgl. zur Verfügung stehende Standard-Sammelliteratur ist veraltet (z.B. GESSNER, 1959, SCULTHORPE, 1967); es fehlen hier deutlich Erkenntnisse modernerer Studien, wie sie bspw. die Zeitschrift *Aquatic Botany* bieten.

1045 **Danksagungen:**

Dieses Skript wurde von vielen ambitionierten, erfahrenen, kritischen und konstruktiven Aquarianern gelesen. Etliche derer möchten jedoch- auf Nachfrage hin- im Internet jedoch nicht mit ihrem Namen genannt werden. Diesem soll an dieser Stelle Genüge getan werden. Gleichzeitig sollen die Namen derer, die genannt werden

1050 können/dürfen, abgekürzt werden.

(u.v.a.):

1055 Marc E., Norderstedt
(Dr.) Romero H., Dessau
Robert M., Augsburg
Jannis S., Vechelde

1060

Werner M., Horn-Bad Meinberg/ Andreas S., Hamburg

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^{+} **zueinander** in der Kultur submerser Makrophyten. Oder: inwiefern sind Begriffe wie "Weichwasser" und "Weichwasserpflanzen" heute noch haltbar?

Literatur:

- 1065 1. Amberger, Anton. Pflanzenernährung. 4. Aufl. 1996. Ulmer TB. Stuttgart.
2. Barr, Tom: <http://www.barr-report.com>
3. Barker, A.V. & Pilbeam D.J. Handbook of Plant Nutrition. Second Edition. 2015. CRC Press Taylor&Francis Group. Boca Raton (FL). USA.
- 1070 4. Bergmann, W.; Zorn W.; Marks, G.&Heß, H. Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 2. Aufl. 2013. Springer Vlg. Berlin-Heidelberg.
5. Ehrenberg, P. Das Kalk-Kali-Gesetz. Neue Ratschläge zur Vermeidung von Misserfolgen bei der Kalkdüngung. Gleichzeitig ein Versuch zur Aufklärung der nachteiligen Wirkung größerer Kalkgaben auf das Pflanzenwachstum. Berlin 1919.
6. Finck, Arnold. Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. 6. Aufl. 2007
- 1075 Borntraeger Vlg. Berlin.
7. Kassebeer, G. "*Eusteralis stellata* war mein Problem". Aquarium Heute 2/1998. Aquadokumente Vlg. Bielefeld
8. Kinzel, Helmut. Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. 1. Aufl. 1982. Ulmer Vlg. Stuttgart.
- 1080 9. Kramer, H.G. Pflanzenaquaristik a la Kramer. 1. Aufl. 2009. Tetra Vlg. Berlin.
10. Kramer, H.G. Stickstoffverbindungen und ihre Bedeutung in der Pflanzenaquaristik. Aquaristik Fachmagazin, Jg.46 (3) Nr. 237. Tetra Vlg. Berlin. 2014.
11. Larcher, Walter. Ökophysiologie der Pflanzen. 5. Aufl.1994. Ulmer Vlg. Stuttgart.
12. Loew, O. Grundsätze bei Düngung mit Kalk und Magnesia. Prakt. Blätter für
- 1085 Pflanzenbau und Pflanzenschutz. VII. p. 77. 1909.
13. Mengel, Konrad. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Vlg. Jena. 1991.
14. Mengel, K. & Kirkby, E.A. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition 2001. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- 1090 15. Marschner, Petra (edt.). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3. Aufl. 2012. Elsevier Ltd. Academic Press.
16. Nobel, Willfried. Der Einfluss der Belastungstoffe Chlorid, Borat und Phosphat auf die Photosyntheseleistung submerser Weichwassermakrophyten. Diss. Univers. Hohenheim. 1980.
- 1095 17. Scheffer, F., Schachtschabel, P. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. 2010. Spektrum Verlag. Heidelberg.
18. Schilling, Günther. Pflanzenernährung und Düngung. Ulmer Vlg. Stuttgart 2000.
19. Schubert, Sven. Pflanzenernährung. 3. Aufl. Ulmer Vlg. Stuttgart 2018.
20. Walstadt, Diana. Das bepflanzte Aquarium. 2. Aufl. 2005. Tetra Vlg. Berlin.