

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  $\text{CO}_2$ , 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 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) und Kalium ( $\text{K}^+$ ) **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 ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) und Kalium ( $\text{K}^+$ ) 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.

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{K}^+$  **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  
55 Diskussionen mit ähnlich motivierten Aquarianern in Internetforen zu führen. Das  
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  
60 wichtige Rolle einnimmt. Allerdings abhängig von vielen anderen Messgrößen, die es  
gilt, im Vorwege festzustellen (s.u.) und möglichst einzuhalten. Die anionischen  
Makronährstoffe  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  und v.a. die des  $\text{Ca}^{2+}$ -/ $\text{Mg}^{2+}$ -Hydrogencarbonates  
( $\text{Ca/MgHCO}_3^-$ ), schienen uns- mit Ausnahme des  $\text{SO}_4^{2-}$  und  $\text{Cl}^-$  hinsichtlich ihrer  
Wirkung in der Praxis seitens Mangel und Überflusses *hinreichend* bekannt. Sie wurden  
65 somit nicht primär fokussiert, müssen jedoch in den für uns neuen Zusammenhängen  
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 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) verwendet, um das Wasser "pflanzenfreundlicher" zu  
konditionieren. Kassebeer nahm jedoch 1 molare Salzsäure (1n = ca. 3,6%ige HCl). Die  
Hydrogencarbonathärtebildner  $\text{Ca/MgHCO}_3^-$  ("KH") und damit die  $\text{Ca}^{2+}$ / $\text{Mg}^{2+}$ -  
Anionenpartner der Gesamthärtekationen wurden somit berechenbar "reduziert"  
(genauer: gegen  $\text{H}^+$  und  $\text{Cl}^-$ -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 des Autors.  
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 ( $\text{Ca/MgHCO}_3^-$ )-Ionen das Wachstum einer Pflanze  
überhaupt?*

90 **Vorweg**

Die physiologische Monocausalisierung (und somit Problematisierung) nur eines  
Parameters innerhalb der pH- $\text{CO}_2$ - $\text{HCO}_3^-$ - Gesetzesmäßigkeit auf ein  
Wachstum/Nichtwachstum ist sinnlogisch 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  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen in vielfacher Hinsicht als Wachsinhibitoren ("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  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen, im Wechselspiel mit  $\text{NO}_3^-$ -N- stellen. Denkbar wäre, dass  $\text{HCO}_3^-$  die  $\text{NO}_3^-$ -Stickstoff-Assimilation hemmt und nicht, wie häufig behauptet, das  $\text{NO}_3^-$  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  $\text{HCO}_3^-$  das Wachstum konkret und vor allem: *unter welchen Randbedingungen?*

120  $\text{HCO}_3^-$  stellt u.v.a. schließlich ein pflanzeigenes Kohlenstoff-Reservoir des zunächst gasförmigen  $\text{CO}_2$  dar (sofern frei verfügbar). Jenes dient wiederum als Substrat für Enzyme (bspw. der *Carboanhydrase*), die bei mannigfaltigen Prozessen der Photosynthese agieren. Die Wechselbeziehungen von  $\text{HCO}_3^-$ - 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  $\text{HCO}_3^-$ - 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  $\text{HCO}_3^-$ -Ionenreduktion, deren zwangsläufig simultane Wirkung auf den pH-Wert und die damit u.a. verbesserte freie  $\text{CO}_2$ -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".

140 Unabhängig von Eutrophierungsparametern wie N, P und K und v.a. der *Gesamthärte* in °dH.  
(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.)

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

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  $\text{CO}_2$  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  $\text{HCO}_3^-$ -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  $\text{HCO}_3^-$ - Ionen o.g. Methode (und/oder mit UOA-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,  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ . Umfassende Übersichten zu diesen und anderen Wasserinhaltsstoffen finden sich bei BARR, der lesenwerte Einzelbeschreibungen und Zusammenhänge aquaristisch wichtiger Wasserbestandteile

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

unter Verwendung aktueller, 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  $\text{NO}_3^-$ -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).

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

225 Die Aquarien wiesen überwiegend dauerhaft stabile Bestände "seltener" und/oder "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-/ $\text{MgSO}_4/\text{NO}_3^-$  - Formen entsprechend unserer Fragestellungen remineralisiert. Folgende

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{K}^+$  **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  $\text{NO}_3^-$ -N (Ca&Mg-Formen), 1mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  (beide wasserlösliche K-Formen) und 0,1-0,2mg/l Fe (III-EDTA) als Bestandteil sehr ähnlich (wennauch nicht 100% gleicher) selbstkonzipierter Spurenelementedünger.  $\text{HCO}_3^-$ -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  $\text{CO}_2$  (titriert). Bodengründe: Sandbodengrund (Solinger)/Akadama- und ADA-"Amazonia- Soil" (Maicher), ohne Düngezusätze.  
Technik: Licht wurde mit 0,6-1W/l, Lichtfarbe 840&940 ohne Pause über 12Std. verabreicht. Temp.: max. 24°C, Filterung: sog. "Geringfilterung", über handelsübliche Schwammfilterpatronen (30ppi) an beckeninternen Strömungspumpen diverser 255 Fabrikate ähnlicher Leistung.  
Messungen: Die Kontrolle über den Verbrauch der hier angeführten Nährstoffe durch die Pflanzenbiomasse stellten überwiegend neue, halbquantitativ/titrimetrisch 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  $\text{NO}_3^-$ -Atmung/Denitrifikation und Ausfällungen von  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$ - Ionen mit  $\text{PO}_4^{3-}$  unter Nicht- 265 Teilwasserwechselbedingungen (sog."Altwasser"- dessen Definition bis heute jedoch fehlt; die 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 270 Arten, wie der "*Pantanal- Ludwigia*".  
(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.

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{K}^+$  **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  $\text{HCO}_3^-$ -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  $\text{HCO}_3^-$ -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

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

345 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).

350 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 Mängelphänomene unserer Reihen zu erklären wissen.

355 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.

360 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" bezeichnen zu wollen (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.

370 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 (beides?)?

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

380 **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)
- 385 3) die "K/Ca+Mg ratio" (Witold GRZEBISZ, 2015)

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

Bemerkungen zum Verhältnis der Ionen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{K}^+$  **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.

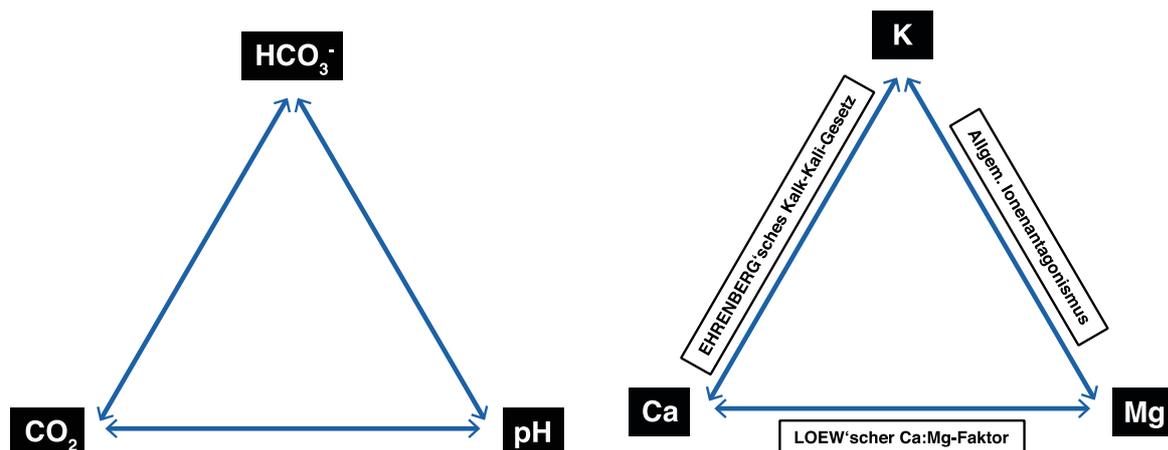
395 Sog. *EHRENBERG-Effekte* (Anmerkung: jener Begriff ist international *nicht* gesichert und entstammt nur einer einzigen, deutschen, Lit.-Quelle: KINZEL, 1982. Der Referenzstatus ist in diesem Zusammenhang bis heute also nicht gesichert), die sich um Ehrenbergs sog. "Kalk-Chlorose" drehen, sind multivariat: 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 von BARKER&PILBEAM 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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  & pH und die Abhängigkeiten von Ca, Mg&K von-und zueinander

420

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 (durch) Pflanzenzellen. Es ähnelt stark der bekannten

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

425  $\text{HCO}_3^-$ -  $\text{CO}_2$  - pH - Gesetzmäßigkeit (links): Ein Parameter beeinflusst den Anderen bzw. ist von diesem obligat abhängig.

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

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

435 **1)** ein möglichst geringes Maß an  $\text{HCO}_3^-$ -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.

**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.

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

**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.*

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

450 Das übrige Rahmenparameter wie Lichtmenge, *freies*  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{NO}_3^-$ - N und Phosphat- Absorptionen durch die Pflanzenbiomasse sind in den Zusammenhängen der beobachteten Erkenntnisse

455 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.).

460

465 **Weitere Folgerungen**

Mangelerscheinungen, 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.

470 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

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

475 Mängelfreiheit und guter Produktivität realisierbar. Und dies auch ohne zwingend "niedrige" oder "mittlere"  $\text{dGH}$ , bzw. "weichen Wassers". Terminaltriebnekrosen bei *Ammannia* unter  $\text{NO}_3\text{-N}$ -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.

480 **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  $\text{dGH}$ " 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.

490 **1) Kritik der Versuchsmethode**

Empirisch ließen sich Versuche nur anstellen an ausgewählten Pflanzenspecies mit bekannter, großer ökologischer bzw. physiologischer Potenz (z.B. *Hygrophila polysperma*). Diese müssten standartisierten Kultur- und v.a. *Kontrollversuchen* unter Monokultur unterworfen werden, die hier definitiv *nicht* stattfinden konnten (495 (Multikulturen als Konkurrenzfaktor, 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 bei gleicher (quali-und quantitativer) Spurenelementversorgung. Einhergehend damit, müsste professionelle Wasser- und Trockenmasseanalytik betrieben werden. Derartige Versuchsaufbauten und Durchführungen sind für den Hobbyistiker jedoch unrealisier- 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 (505 dennoch tw. veröffentlicht, diskutiert und überwiegend positiv bestätigt (Internet).

510 **Gegenbeispiel:**

Nur ein einziges Aquarium als "Versuchslaboratorium" betrachten zu wollen, zudem mit Teilwasserwechseln aus der Wasserleitung mit unbekanntem Parameterschwankungen, führt grundsätzlich zu keinerlei absicherbaren Erkenntnissen und entbehrt jeglicher wissenschaftlicher Methodik. Zumal die hobbyistischen Messmittel viel zu ungenau sind (515 und gerade Teilwasserwechsel sicherlich Fehler hinsichtlich etwaiger Standardabweichungen provozieren.

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

520 Zudem wurde eine Pflanzenart in den Fokus genommen ("*Pantanal-Ludwigia*"), die bis heute (nach 12Jahren!) nur unzureichend lange erfolgreich kultiviert werden konnte.

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

525 Das gleiche Phänomene, in gleichem Zeitraum, aber (wie sagt) überregional und an annähernd gleichen Artbeständen sehr ähnlicher Qualität beobachtet wurden, - könnten somit auch *reine Zufälle* darstellen.

530 **2) Modell/Konstrukt kritik:**

Eine Kritik bezüglich der Analogisierung des "Ca:Mg:K-Modells" zum  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_2$ -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  
535 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.

540 **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  
545 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).

550 **Ein Beispiel:**

Limitiert man im  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_2$ -pH-Verhältnis die  $\text{HCO}_3^-$  -Ionen des Wassers, so wirkt sich jene Manipulation zwangsläufig auf den pH-Wert und auf die Verfügbarkeit des gelösten  $\text{CO}_2$  aus. An diesen Komponenten partizipieren jedoch etliche Enzymaktivitäten der Pflanze. An den Beispielen der Substrate  $\text{CO}_2$  und  $\text{HCO}_3^-$  z.B. das o.g. Enzym  
555 *Carboanhydrase* (ohne weitere Erläuterung in diesem Rahmen aus Platzgründen). Zudem werden Komplexbildungskonstanten der Spurenelementemetalle - abhängig von den verwendeten Chelatoren- in pH-Bereichen unterhalb pH 7,0 optimiert bzw. garantiert (z.B. Fe-EDTA max. pH 6,5).

560 Auch hier:

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

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

So also auch wie  $\text{Ca/MgHCO}_3^-$ ,  $\text{H}^+/\text{OH}^-$ -Ionen des pH-Wertes und  $\text{CO}_2$ -Moleküle des Wassers, innerhalb der bekannten pH- $\text{CO}_2$ - $\text{HCO}_3^-$ -Gesetzmäßigkeit.

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

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

Wir halten daher eine funktionale Gleichsetzung des oben vorgestellten "Ca:Mg:K-Dreiecks" mit der der  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_2$ -pH-Gesetzmäßigkeit für zumindest "angemessen"; unter Angabe aufgeführter Argumente.

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

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

580 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

585 "mängelfreier Habitus", samt quantitativer "Produktivität" über z.B. eines 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  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen reduziert), trotzdem qualitative Wachstumsprobleme mit vielen sog. "Weichwasserarten" aufweisen - trotz adäquater, additiver Düngung mit  $\text{CO}_2$ , 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- $\text{HCO}_3^-$ -Ionen-Konzentrationen ("°dKH") der Kulturwässer unberücksichtigt blieb.

590 Somit distanzieren wir uns heute von diesen Begrifflichkeiten: Wir bemessen der Nennung reiner Größen in °dGH ohne dezidierte Angaben mengenmäßiger *Verhältnisse* von Ca:Mg:K zueinander, samt dem Grad der Reduktion der  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen und o.g. Anionen keiner mehr Bedeutung zu, da sie uns hinsichtlich produktiver Kulturempfehlungen als schlicht: aussagelos erscheinen.

595 Erfolgswweise konsequenter Anwendung der hier recherchierten Gesetze, bzw. Regeln im Sinne eines "pflanzenfreundlichen Wasserverhältnisses" beweisen die Aquarien der Autoren, die überwiegend

600 "Weichwassermakrophyten"/"Spezialistenarten"/"Problempflanzen" beinhalten. In diesen 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

605 Biomasseentwicklung pro Woche. Daher halten wir den Begriff der "Weichwasserpflanze" im Zusammenhang mit der Definition der dGH für kritisch- da irreführend.

610 **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.

615 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

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

620 Düngestrategie und eine Einordnung auf seinen individuell formulierten Problemkomplex- übereilt vermeintliche "Lösungen" erstellt werden.

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

625 **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 eine *besondere* Rolle zuzuweisen. So wurde u.a. behauptet, dass K auch in

630 volllaquatischer Phase unter den o.g. Lichtstärken in gleichem Maße assimiliert würde, wie  $\text{NO}_3^-$ -N. Somit seien Düngung und gar *Dauergehalte* des Wassers an K grundsätzlich sinnvoll und "empfohlen". Vermutlich stammte letzte Aussage aus der

Bodenkundeliteratur und wurde unreflektiert auf den Status submerser Pflanzen projiziert ohne aber zu berücksichtigen, dass K (samt aller hier besprochenen Kat- und

635 Anionen) in Bodenlösungsphasen rein terrestrischer Pflanzen bzgl. einer Aufnahme anderen Verhältnissen unterliegt, als in Böden, die dauerhaft vernässt oder überflutet sind (o.w. Abhandlung).

640 **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

645 Ratschläge z.B. unter "Empfehlungen" von Kaliumnitrat ( $\text{KNO}_3$ ) statt. "Begründet" wurden diese Ratschläge u.a. damit, dass jene Verbindung angeblich zur gleichzeitigen Deckung des  $\text{NO}_3^-$ -N und K-Bedarfs einer ... "Wasserpflanze..." diene (ohne jegliche Differenzierung zum Pflanzen- und Aquarientyp). Als "Beweis" wurde u.a. angeführt,

650 dass die prozentuale Verteilungen der Moleküle dieser Verbindung besonders "günstig" ausfiele (formale Stoffmengenangaben von  $\text{KNO}_3$  in %: 39%K, 61% $\text{NO}_3^-$ ; 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.

655 **Allerdings:**

mit überaus *sehr unterschiedlichen Kulturerfolgen* - auch bei sonst angemessenen Begleitparametern, wie den hier beschriebenen.

660 *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.*

665

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

670 **Vorweg:** Die o.g. Aussagen in hobbyistischer Lit. bzgl. einer  
- unüberlegten -  $\text{KNO}_3$ -Düngung, weisen mehrere Grundlagenkenntnis-Defizite auf, die einer Korrektur bedürfen.

675 **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).

680 **2)** Die Aufnahme von Kat- und Anionen durch die Pflanze erfolgt mehr oder weniger in äquivalenten Mengen (z.B. SCHILLING, 2000).

**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  
685 gleichzeitiger Individuenmenge und hoher wöchentlicher Biomasseentwicklung verfügen (Autoren).

690 **Einschränkungen**

Grundsätzlich gilt es jedoch "Pflanzenaquarien" aufgrund ihrer zwangsläufig großen Heterogenität zu differenzieren:

nur z.B.:

- 0,3W/l- Aquarien
- 695 - 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"
- 700 - Aquarien unterschiedlichster Kies-/Sandkörnungen/"soil"-Bodengründe
- reine oder überwiegende *Echinodorus/Cryptocoryne/Bucephalandra/Anubias*-Becken
- reine Stängelpflanzen-Becken
- Monokulturen systematisch niederer oder höherer Pflanzen
- sämtliche Zwischenformen mit oder ohne Bodenheizung
- 705 - 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
- 710 - etc.pp.

715

720 **Unrichtig und legitim zu hinterfragen ist:**

**1)** Das K von der Pflanze in *submerser Status* quantitativ im gleichem Maße aufgenommen wird, wie  $\text{NO}_3^-$ -N (s.o.). Derartige Behauptungen haben sich an wissenschaftlichen Fakten der Standardreferenz-Literatur zu messen, woran sie bis heute ermangeln und so dem Anwender schuldig bleiben.

725

730 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

735 Nutzpflanzen, die beobachtet wurden.

**2)** Das "Empfehlungen" von K-Gehalten, die sich an der Höhe des jeweiligen  $\text{NO}_3^-$ -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.

740 **3)**  $\text{KNO}_3^-$  unbedacht als Düngesalz-"Dauerlösung" gleichzeitiger N&K-Bedarfe für quasi jeden Pflanzenaquarientyp zu empfehlen. Dies unter Begründung, dass die prozentuale Verteilung von K: $\text{NO}_3^-$ -Ionen besonders "günstig" ausfiele.

745 **Unrichtig,**

da bereits die  $\text{O}_2$ -Anteile eines  $\text{NO}_3^-$ -Ions ( $\text{NO}_3^-$ : *3 $\text{O}_2$ -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**.  $\text{KNO}_3^-$  stellt somit einen **Kalium-**Dünger mit - im Verhältnis zu **N** - deutlich geringerem N-Anteil dar.

750

Hieraus folgt, dass unkontrollierte, regelmäßige Düngemittelanwendungen mittels  $\text{KNO}_3^-$  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

755 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-

760 auch wenn für die kultivierte Pflanze genügend frei verfügbares Eisen, Stickstoff, Phosphat,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  und Licht zur Verfügung stehen. Deren Mangelgehalte im Wasser können oft zu wohlbekanntem Schadbildern führen, welche häufig dem Chlorosekreis zugeordnet werden - jedoch viele Schadbilder umfasst.

*Können wohl gemerkt:*

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

- 765 Wenn nicht der wöchentliche Realbedarf des K an den individuellen Pflanzenbestand eruiert und genauso regelmäßig überprüft wird - genau wie der des N und P. Kalium sollte also, nach unserem heutigem Verständnis der Verhältnisse (Ende 2017), mit Augenmaß auf den individuellen Pflanzenbestand verabreicht werden. Erst recht unter Verwendung von  $\text{KNO}_3$ . Für sicher festgestellte K-Mängel (Frage: Diagnose-Sicherheit?)
- 770 stellten Kaliumsulfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) und Kaliumcarbonat ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) eine Alternative dar, zumal sich der im  $\text{KSO}_4$  enthaltene Schwefelanteil (S) in der aquaristischen Praxis bisher als unkritisch erwies.
- 775 **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 favorisieren. Somit bedürften diese Thesen eigentlich einer objektiven Überprüfung.
- 780 **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.
- 785 **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
- 790 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 **Zur Praxis unserer Kalium- und Stickstoffdüngung:**  
**Kalium-Düngung (K):**  
Bisher bewährten sich K -"Stoßdüngungen" mittels  $\text{KSO}_4$  oder  $\text{KCO}_3$ . Wobei die Carbonatform bevorzugt werden könnte, da nahezu "KH-neutral" wirkend und schwefelfrei (das geringe Maß an Carbonat, welches hier mitgeliefert wird, wird bei
- 800 einer beständigen Nitrifikation neutralisiert.). Weitere Düngevarianten bestünden in der Darreichung der  $\text{PO}_4^{3-}$ - Formen Kaliumhydrogenmonophosphat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) oder Dikaliumhydrogenphosphat ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ).  
Hierbei wird jedoch prozentual wesentlich mehr  $\text{PO}_4^{3-}$  verabreicht, als evtl. gewünscht (die mengenmäßigen  $\text{PO}_4^{3-}$ -Anteile werden in der Pflanzenquaristik bis heute umstritten
- 805 diskutiert).  
Die Düngegaben können unter den hier beschriebenen Ausgangsbedingungen *unregelmäßig* erfolgen - sind aber grundsätzlich immer abhängig des vorliegenden Aquarientyps/Pflanzenbestands, dem Habitus der Pflanzen und der des aktuellen Kalium-Messwerts zu betrachten.
- 810 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

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

815 Reaktionsträgheit mit anderen Metallionen - in allen Pflanzengeweben hochmobil (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  
820 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  
825 allgemeingültige Definition für sog. "Starklicht" fehlt bis heute) zu K-Mangel kommen.

830 **Das Dilemma**

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.

835 **Stickstoff - Düngung ( $\text{NO}_3^-$  - Form)**

Wir praktizieren Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )- Stickstoffdüngung aus Gründen guter Erfahrung hinsichtlich der Produktivität und des Habitus' unserer Kulturen. Physiologisch "sauer" wirkende N-Düngung über  $\text{NH}_4^+$  oder Urea-Verbindungen soll hier aus Komplexitätsgründen nicht thematisiert werden. Sie beweist aber durchaus  
840 unbestrittene Tragfähigkeit, da sie seit mittlerweile vielen Jahren von einigen PflanaquarianerInnen erfolgreich angewendet wird.

In diesem Zusammenhang sollte aber berücksichtigt werden, dass bei gleichzeitiger Begleitfisch, - Garnelen und Schneckenkultur immer auch kurzzeitig  $\text{NH}_4^+$ - Verbindungen 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: " $\text{NH}_4^+$ -N-Präferenz" vs. " $\text{NO}_3^-$ -N-Präferenz"; WALSTADT, 2005).

850 **Folgerungen für eine  $\text{NO}_3^-$ -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  $\text{NO}_3^-$ -N-Düngung in ihrer Applikation als pflanzenproduktiv und nebenwirkungsfrei dar. Sie  
855 sollten jedoch im Verhältnis von Ca:Mg 2-3:1 und v.a. zu K stehen.

860

865 **Begründung für eine  $\text{CaNO}_3$ -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  $\text{NO}_3^-$  - 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 ( $\text{KNO}_3$ ) dar.

870 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  
875 Aquarientyp und dessen Begleitfauna.

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

Rückblickend auf die bisher vielfachen und sehr positiven Rückmeldungen vieler Pflanzenaquarianer hinsichtlich des hier vorgestellten Verhältnisses von Ca, Mg und K (Internetdiskussionen) liegt der Gedanke nahe, aus unserem (noch weiter zu  
885 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.

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

**1)** Ist die willkürliche Kopplung zweier, unabhängig voneinander entstandener, naturwissenschaftlicher Agrarökonomie-Gesetzmäßigkeiten als laienhaftes Konstrukt zu betrachten und somit streng genommen: unwissenschaftlich. Es muss hinsichtlich  
895 dessen Belastbarkeit

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

**b)** weiter- möglichst empirisch- untersucht werden.

**2)** Stellen unsere Ergebnisse lediglich Verifizierungen der in der Literatur gefundenen Gesetze/Regeln/Verhältnisse dar- sie sind also grundsätzlich nicht als etwas "Neues" anzusehen.  
900

**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.  
905

**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  
910 Diskussionsergebnisse v.a. bezüglich begleitender Mengen und *Verhältnisse* der Anionen

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

$\text{NO}_3^-$  und  $\text{PO}_4^{3-}$  im Kontext des hier Beschriebenen fehlen und nicht besprochen wurden. Diese sind aber noch längst nicht erschöpfend kontrovers/konstruktiv abgehandelt bzw. in Frage gestellt worden.

915

920 **3) Das Problem der Recherche:**

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

925 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 Sammelliteratur (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.

930 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 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.

935 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.

940 **Fragestellungen:**

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

955

**2)** Inwiefern müssen Neuüberlegungen bezgl. der begleitenden Anionen-Versorgung und v.a. *deren Verhältnisse* in Form von z.B.  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{3-}$  und Cl- Verbindungen stattfinden?

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

960 **3)** Wie gelingt eine praktikable Einstellung der hier besprochenen Wasserparameter- auch unter problematischer Ausgangswasserlage ("hohes" Maß an N, P, K, Na- und  $\text{HCO}_3^-$  - Werten im Leitungswasser)?

965 **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)?

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

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

980 **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.

985 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 Begleitkationenverhältnisse. Eine Beschäftigung damit ist jedoch lohnenswert und dient einem weiteren "Puzzle"-Stück in Sachen: produktiver Pflanzenaquaristik. Von daher  
990 sind Rückmeldungen an die Autoren wertvoll.

995 **Ausblicke in die Zukunft:**

Der Zukunft der hobbyistisch-aquaristischen Pflanzenkultur 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

1000 Minimierung des Verbrauchs durch unwissentliche "Totpflege" submerser Species.

- Insbesondere müssen auch die Verhältnisse der Spurenelemente zueinander und v.a. *ihrer Chelatisierungen* in Düngern neu betrachtet werden: ein Umstand, der in Internetforen längst seit vielen Jahren konstruktiv diskutiert und in der Praxis durch  
1005 einige Wenige auch erfolgreich umgesetzt wird.

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

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

1010 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.

1015 - 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.

1020 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.

1025 **Danksagungen:**

Marc Enders, Norderstedt

Dr. Romero Herr, Dessau

Stefan Jenckel, Geesthacht

Robert Miehle, Augsburg

1030 Jannis Schleunsner, Vechelde

Heiner Wolfram, Hamburg

1035 **Literatur:**

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.

1040 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.

1045 6. Finck, Arnold. Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. 6. Aufl. 2007 Borntraeger Vlg. Berlin.

7. Kassebeer, G. "*Eusteralis stellata* war mein Problem". Aquarium Heute 2/1998. Aquadokumenta Vlg. Bielefeld

1050 8. Kinzel, Helmut. Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. 1. Aufl. 1982. Ulmer Vlg. Stuttgart.

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.

1055 12. Loew, O. Grundsätze bei Düngung mit Kalk und Magnesia. Prakt. Blätter für

**Maicher W., Horn-Bad Meinberg/Solinger, A., Hamburg**

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

Pflanzenbau und Pflanzenschutz. VII. p. 77. 1909.

**13.** Mengel, Konrad. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Vlg. Jena. 1991.

1060 **14.** Mengel, K. & Kirkby, E.A. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition 2001. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

**15.** Marschner, Petra (edt.). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3. Aufl. 2012. Elsevier Ltd. Academic Press.

1065 **16.** Nobel, Willfried. Der Einfluss der Belastungstoffe Chlorid, Borat und Phosphat auf die Photosyntheseleistung submerser Weichwassermakrophyten. Diss. Univers. Hohenheim. 1980.

**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.

1070 **20.** Walstadt, Diana. Das bepflanzte Aquarium. 2. Aufl. 2005. Tetra Vlg. Berlin.