

SW
HK

57

ISBN=120 235 H

14401+261

Stamboek nr. 2707

PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS TE NAALDWIJK
CONSULENTSCHAP VOOR DE TUINBOUW TE NAALDWIJK

HET BEREKENEN VAN VOEDINGSOPLOSSINGEN VOOR PLANTETEELT ZONDER AARDE

ing. C. Sonneveld.

No. 57

Informatiereeks

Juli 1980

Prijs f 5,—

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0935 4776

INHOUD

PAGINA

Doel	3
Definitie	3
Atoomgewichten	3
Basissamenstelling	4
Samenstelling water	4
Meststoffen	5
Berekening van voedingsoplossingen	5
Referenties	9
Bijlagen 1 tot en met 4	11

DOEL

Het is de bedoeling dat op 1 augustus 1980 in de glastuinbouw alle chemische eenheden worden uitgedrukt in mole. Deze eenheid is internationaal gestandaardiseerd en wordt afgekort geschreven als mol.

In verband met deze veranderingen zullen ook de gehalten van de voedingsoplossingen in de toekomst worden uitgedrukt in mol en lijkt het gewenst bij het uitrekenen van de voedingsoplossingen ook mol als eenheid te gebruiken. Tot heden zijn hiervoor milli-equivalenten of mg gebruikt. Het door elkaar gebruiken van verschillende eenheden geeft gemakkelijk aanleiding tot fouten en is dus niet gewenst.

Het doel van deze brochure is het geven van de rekenmethode en een aantal reken-tabellen om snel een voedingsoplossing uit een bepaalde basissamenstelling uit te kunnen rekenen.

DEFINITIE

De definitie van mole zoals deze internationaal is overeengekomen luidt als volgt (Aylward and Findlay, 1974):

"The mole is the amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are carbon atoms in 0.012 kilogram of carbon - 12. The elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles or specified groups of such particles.

ATOOMGEWICHTEN

Atoomgewichten die van belang zijn voor de berekeningen in deze brochure zijn opgenomen in tabel 1. Ze zijn afgeleid uit de internationaal overeengekomen atoomgewichten (Aylward and Findlay, 1974) door afronding op één decimaal. Dit is voldoende nauwkeurig voor onze berekeningen.

Elementen	A_r	Elementen	A_r
N	14	Fe	55.9
P	31	Mn	54.9
K	39.1	Zn	65.4
Ca	40.1	B	10.8
Mg	24.3	Cu	63.6
S	32.1	Mo	95.9
O	16		
H	1		
C	12		
Na	23		
Cl	35.5		

Tabel 1. Afgeronde atoomgewichten (A_r) van een aantal elementen.

BASISSAMENSTELLINGEN

De basissamenstellingen van de voedingsoplossingen voor de verschillende gewassen zijn in een afzonderlijke brochure opgenomen (Sonneveld en Arnold Bik, 1979) en worden daarom niet in deze brochure vermeld.

SAMENSTELLING WATER

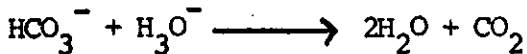
De eisen waaraan water bestemd voor teelten in substraat of circulatiesystemen moet voldoen zijn samengevat in een rapport (Sonneveld, 1979) en worden dus niet nader omschreven.

De ionen die in het water worden gevonden zijn soms plantevoedingsstoffen, zoals bijvoorbeeld SO_4^{--} , Ca^{++} , Mg^{++} . Andere ionen zijn soms in zeer kleine hoeveelheden nodig voor de plant, maar bereiken al spoedig een concentratie waarin ze schadelijk zijn; Na^+ en Cl^- zijn hiervan voorbeelden. In het water aanwezige ionen die als plantevoeding dienst doen moeten op de basissamenstelling in mindering worden gebracht.

Een uitzondering op deze regel vormt het in water aanwezige ijzer. Dit precipiteert als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en is dus niet beschikbaar voor de plant.

Hoewel HCO_3^- geen plantevoedingsstof is, dient bij bereiding van de voedingsoplossing wel rekening te worden gehouden met dit ion. Bij accumulatie van HCO_3^- zou de pH te sterk oplopen en daarom moet het worden geneutraliseerd met zuur.

Hierbij verloopt de volgende reactie:



Gewoonlijk worden hiervoor fosforzuur of salpeterzuur gebruikt.

MESTSTOFFEN

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de meststoffen die worden gebruikt bij het samenstellen van voedingsoplossingen. In deze tabel zijn ook de chemische samenstelling en het molecuulgewicht vermeld.

Bij kalksalpeter, de 37% zuuroplossingen en de ijzerchelaten is het molecuulgewicht tussen haakjes gezet, omdat het een benaderd molecuulgewicht is. Bij ijzerchelaat is dit een kwestie van onzuiverheid en is het molecuulgewicht berekend op basis van het ijzergehalte. Bij kalksalpeter is dit een gevolg van het feit dat wat kristalwater en ammoniumnitraat naast de calciumnitraat aanwezig is. De eigenlijke molecuulformule is $5 \left[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \right] \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$. Het molecuulgewicht is dan 1080,5 en 1 mol kalksalpeter is dan chemische equivalent met 5 mol Ca^{++} , 11 mol NO_3^- en 1 mol NH_4^+ . Teneinde ingewikkelde berekeningen te voorkomen, is het weergegeven als $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, waarbij het molecuulgewicht is berekend op basis van het stikstofgehalte. In werkelijkheid is dus een klein deel van de stikstof NH_4^+ in plaats van NO_3^- en wordt iets minder Ca^{++} gegeven dan aangegeven is. Deze afwijkingen zijn voor praktische toepassingen echter wel acceptabel. Bij de 37% zuuroplossingen is bij het molecuulgewicht het aanwezige water in rekening gebracht.

BEREKENINGEN VAN VOEDINGSOPLOSSINGEN

Bij berekening van voedingsoplossingen kunnen de handelingen gewoonlijk in twee delen worden gesplitst. Het eerste deel van de berekening omvat de hoofdelementen. Hierbij moet als regel met twee of meer componenten van de meststof tegelijkertijd rekening worden gehouden. Als bijvoorbeeld KNO_3 wordt gegeven om het kaligehalte te verhogen moet tegelijkertijd de NO_3^- in rekening worden gebracht. Voor wat betreft de spoorelementen is de berekening veel eenvoudiger, omdat bij deze meststoffen de andere componenten dan die waarvoor de meststof wordt gegeven gewoonlijk verwaarloosd kunnen worden.

Bij het berekenen van de hoofdelementen is de volgende methode goed bruikbaar. Als voorbeeld is een voedingsoplossing voor kammer uitgewerkt bij gebruik van regenwater of ontzout water (tabel 3).

Meststof	Chemische samenstelling	% zuivere voedingsstoffen	Molecuulgewicht
Salpeterzuur 100%	HNO_3	22 N	63
Salpeterzuur 37%	HNO_3	8 N	(170.3)
Fosforzuur 100%	H_3PO_4	32 P	98
Fosforzuur 37%	H_3PO_4	12 P	(264.9)
Kalksalpeter	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15,5 N, 19 Ca	(181)
Kalisalpeter	KNO_3	13 N, 38 K	101.1
Ammoniumnitraat	NH_4NO_3	35 N	80
Magnesiumnitraat	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	11 N, 9 Mg	256.3
Monokalifosfaat	KH_2PO_4	23 P, 28 K	136.1
Zwavelzurekali	K_2SO_4	45 K, 18 S	174.3
Bitterzout	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	10 Mg, 13 S	246.4
Mangaansulfaat	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32 Mn	169
Zinksulfaat	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	23 Zn	287.5
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11 B	381.2
Kopersulfaat	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	25 Cu	249.7
Ammoniumheptamolybdaat	$(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24}$	58 Mo	1163.3
Natriummolybdaat	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	40 Mo	241.9
IJzerchelaat FeLo	Fe-EDTA	13 Fe	(430)
Nervenaid Fe	Fe-EDTA	13 Fe	(430)
IJzerchelaat 330 Fe	Fe-DTPA	9 Fe	(621)
IJzerchelaat Fe-DP	Fe-DTPA	6 Fe	(932)
Nervanaid Fe 6 DP	Fe-DTPA	6 Fe	(932)
IJzerchelaat 138 Fe	Fe-EDDHA	5 Fe	(1118)
IJzerchelaat Fe-H1	Fe-EDDHA	6 Fe	(932)
Ferriplex	Fe-EDDHA	6 Fe	(932)
Kalibicarbonaat	KHCO_3	39 K	100.1
Calciumhydroxide	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	54 Ca	74.1

Tabel 2. Meststoffen die gebruikt worden bij het samenstellen van voedingsoplossingen.

Meststof	mmol.l ⁻¹	Basissamenstelling mmol.l ⁻¹						
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		11.5	1.5	1.0	0.5	6.0	3.5	0.75
NH ₄ NO ₃	0.5	0.5			0.5			
KH ₂ PO ₄	1.5		1.5			1.5		
Ca(NO ₃) ₂	3.5	7.0					3.5	
KNO ₃	4.0	4.0				4.0		
K ₂ SO ₄	0.25		0.25			0.5		
MgSO ₄	0.75		0.75					0.75

Tabel 3. Schema voor het samenstellen van een voedingsoplossing zonder correcties.

In de tabel 3 berekende hoeveelheden meststoffen in mmol.l⁻¹ kunnen nu gemakkelijk worden omgerekend naar mg.l⁻¹ of kg. m⁻³ voor een 100 maal geconcentreerde voedingsoplossing. In tabel 4 zijn de uitkomsten opgenomen.

Meststof	mg.l ⁻¹	kg.m ⁻³ 100 maal geconcentreerd.
Ammoniumnitraat	40	4.0
Monokalifosfaat	204	20.4
Kalksalpeter	634	63.4
Kalisalpeter	404	40.4
Zwavelzurekali	44	4.4
Bitterzout	185	18.5

Tabel 4. Omrekening van de meststoffen in tabel 3.

Voor wat betreft de sporelementen zijn de berekeningen opgenomen in tabel 5.

Dosering μmol.l	Meststof	mg.l ⁻¹	g.m ⁻³ 100 maal geconcentreerd
10 Fe	IJzerchelaat 330 Fe	6.21	621
10 Mn	Mangaansulfaat	1.69	169
4 Zn	Zinksulfaat	1.15	115
20 B	Borax	1.91	191
0.5 Cu	Kopersulfaat	0.12	12
0.5 Mo	Natriummolybdaat	0.12	12

Tabel 5. Berekening van de sporelementen.

De getallen in de derde en vierde kolom worden als volgt verkregen: 10 μmol Fe = 10 x 621 μg Fe-DTPA (330 Fe) = 6.21 mg. Voor een 100 maal geconcentreerde oplossing wordt per m³ in g berekend 10 x 621 x 100 x 10⁻⁶ = 621.

Hetzelfde systeem kan worden gevolgd voor de andere elementen. Let wel dat 1 mol borax \equiv 4 mol B. Voor borium wordt de berekening per liter dus $1/4 \times 20 \times 381.2 \text{ mg} = 1.91 \text{ mg}$.

Het zal duidelijk zijn dat verschillende mogelijkheden van meststofkeuze zich voordoen. Deze keuze kan technisch bepaald worden. Indien dit niet het geval is zal als regel de goedkoopste meststof worden genomen.

De meststoffen worden verdeeld over twee verschillende bakken, die gewoonlijk A en B worden genoemd. In bak A worden geen fosfaten en sulfaten gedaan en in bak B worden geen calciumhoudende zouten gedaan. Op deze wijze wordt voorkomen dat calciumfosfaat of calciumsulfaat precipiteert.

In de bijlagen zijn rekenschema's te vinden voor omrekening van mmol.l^{-1} in de voedingsoplossing naar g of kg.m^{-3} voor een 100 maal geconcentreerde oplossing. Nu het geval dat in de voedingsoplossing wordt gecorrigeerd voor HCO_3^- , Ca^{++} en Mg^{++} . Voor HCO_3^- worden equivalente hoeveelheden H_3O^+ berekend. In geval dat een deel van de stikstof als NH_4^+ aanwezig is, kan het nodig zijn minder te berekenen. In het rekenvoorbeeld wordt 3 mmol H_3O^+ toegediend en 1 mmol Ca^{++} en $\frac{1}{2}$ mmol Mg^{++} weggelaten. Meestal als in het water HCO_3^- aanwezig is worden equivalente hoeveelheden aan $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ gevonden. Tabel 6 bevat het rekenschema. Als voorbeeld is de berekening van een voedingsoplossing voor tomaat in steenwol genomen.

		Basissamenstelling mmol.l^{-1}							
		NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{--}	H_3O^+	NH_4^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
		10.5	1.5	2.75		0.5	7.5	3.75	1.0
		Correcties							
					+ 3.0			-1.0	- 0.5
Meststof	mmol.l^{-1}	Te berekenen samenstelling							
		10.5	1.5	2.75	3.0	0.5	7.5	2.75	0.5
H_3PO_4	1.5		1.5		1.5				
HNO_3	1.5	1.5			1.5				
NH_4NO_3	0.5	0.5				0.5			
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	2.75	5.5						2.75	
KNO_3	3.0	3.0					3.0		
K_2SO_4	2.25			2.25			4.5		
MgSO_4	0.5			0.5					0.5

Tabel 6. Schema voor het samenstellen van een voedingsoplossing met correctie van 3 mmol H_3O^+ , 1 mmol Ca^{++} en 0,5 mmol Mg^{++} .

Op bovenomschreven wijze zijn voor tomaat en komkommer voedingsoplossingen berekend waarin bepaalde correcties zijn aangebracht voor H_3O^+ , Ca^{++} en Mg^{++} (Sonneveld en Voogt, 1978 a en b). Het is daarom niet nodig voor elk type water opnieuw een schema te berekenen. Uit de bestaande schema's kan de best passende worden genomen.

Als het water veel SO_4^{--} bevat, dan moet ook hiervoor gecorrigeerd worden. Dit kan dan veelal binnen het bestaande schema pakket gebeuren door een gedeelte van de $MgSO_4$ weg te laten. Sterk afwijkende typenwater zullen aparte berekeningen vragen.

REFERENTIES

Aylward, G.H. and T.J.V. Findlay, 1974.

SI chemical data, Second edition. John Wiley and Sons.

Sonneveld, C. and R. Arnold Bik, 1979. Voedingsoplossingen voor groenten en bloemen geteeld in water of substraten. Brochure Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk en Proefstation voor de Bloemisterij, Aalsmeer.

Sonneveld, C. 1979. Adviesbasis voor waterkwaliteit in de glastuinbouw. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk, Intern rapport nr 3, 1979.

Sonneveld, C. en S.J. Voogt, 1978 a. Het samenstellen van voedingsoplossingen voor de teelt van komkommers in steenwol. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk, Informatiereeks no. 44.

Sonneveld, C. en S.J. Voogt, 1978 b. Voedingsoplossingen voor tomaat. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk.

Bijlage 1.

Omrekening van zuren en zouten van mmol.l^{-1} in de voedingsoplossing naar kg of l. m^{-3} in een 100 maal geconcentreerde oplossing.

Aantal mmol	HNO_3 (37%) [*]		H_3PO_4 (37%) ^{**}		KNO_3 kg	NH_4NO_3 kg	KH_2PO_4 kg
	kg	l	kg	l			
½	8.5	6.9	13.2	10.6	5.1	4.0	6.8
1	17.0	13.8	26.5	21.2	10.1	8.0	13.6
1½	25.5	20.8	39.7	31.8	15.2	12.0	20.4
2	34.1	27.7	53.0	42.4	20.2	16.0	27.2
2½	42.6	34.6	66.2	53.0	25.3	20.0	34.0
3	51.1	41.5	79.5	63.6	30.3	24.0	40.8
3½	59.6	48.5	92.7	74.2	35.4	28.0	47.6
4	68.1	55.4	106.0	84.8	40.4	32.0	54.4
4½	76.6	62.3	119.2	95.4	45.5	36.0	61.2
5	85.2	69.2	132.4	106.0	50.6	40.0	68.0
5½	93.7	76.2	145.7	116.6	55.6	44.0	74.9
6	102.2	83.1	158.9	127.1	60.7	48.0	81.7
6½	110.7	90.0	172.2	137.8	65.7	52.0	88.5
7	119.2	96.9	185.4	148.3	70.8	56.0	95.3
7½	127.7	103.8	198.7	159.0	75.8	60.0	102.1
8	136.2	110.7	211.9	169.5	80.9	64.0	108.9
8½	144.8	117.7	225.2	180.2	85.9	68.0	115.7
9	153.3	124.6	238.4	190.7	91.0	72.0	122.5
9½	161.8	131.5	251.7	201.3	96.0	76.0	129.3
10	170.3	138.5	264.9	211.9	101.1	80.0	136.1

* soortelijk gewicht 1.23 kg.l^{-1}

** soortelijk gewicht 1.25 kg.l^{-1}

Bijlage 2.

Omrekening van zouten van mmol.l⁻¹ in de voedingsoplossing naar kg.m³ in een 100 maal geconcentreerde oplossing.

Aantal mmol	Ca(NO ₃) ₂ (15.5% N) kg	Mg(NO ₃) ₂ 6 H ₂ O kg	K ₂ SO ₄ kg	MgSO ₄ 7H ₂ O kg
0.25	4.5	6.4	4.4	6.2
0.50	9.0	12.8	8.7	12.3
0.75	13.6	19.2	13.1	18.5
1.00	18.1	25.6	17.4	24.6
1.25	22.6	32.0	21.8	30.8
1.50	27.2	38.4	26.1	37.0
1.75	31.7	44.9	30.5	43.1
2.00	36.2	51.3	34.9	49.3
2.25	40.7	57.7	39.2	55.4
2.50	45.2	64.1	43.6	61.6
2.75	49.8	70.5	47.9	67.8
3.00	54.3	76.9	52.3	73.9
3.25	58.8	83.3	56.6	80.1
3.50	63.4	89.7	61.0	86.2
3.75	67.9	96.1	65.4	92.4
4.00	72.4	102.5	69.7	98.6
4.25	76.9	108.9	74.1	104.7
4.50	81.4	115.3	78.4	110.9
4.75	86.0	121.7	82.8	117.0
5.00	90.5	128.2	87.2	123.2

Bijlage 3.

Omrekening van ijzerchelaten in afhankelijkheid van het percentage ijzer van $\mu\text{mol.l}^{-1}$ voedingsoplossing naar g. m^{-3} in een 100 maal geconcentreerde oplossing.

$\mu\text{mol Fe}$	% ijzer in het chelaat			
	$\frac{13}{\text{g}}$	$\frac{9}{\text{g}}$	$\frac{6}{\text{g}}$	$\frac{5}{\text{g}}$
5	215	310	466	559
10	430	621	932	1118
15	645	932	1398	1677
20	860	1242	1864	2236
25	1075	1552	2330	2795
30	1290	1863	2796	3354
35	1505	2174	3262	3913
40	1720	2484	3728	4472
45	1935	2794	4194	5031
50	2150	3105	4660	5590
55	2365	3416	5126	6149
60	2580	3726	5592	6708
65	2795	4036	6058	7267
70	3010	4347	6524	7826
75	3225	4658	6990	8385
80	3440	4968	7456	8944
85	3655	5278	7922	9503
90	3870	5589	8388	10062
95	4085	5900	8854	10621
100	4300	6210	9320	11180

Bijlage 4.

Omrekening van spoorelementmeststoffen van $\mu\text{mol.l}^{-1}$ in de voedingsoplossing naar g.m^{-3} in een honderd maal geconcentreerde oplossing.

μmol	MnSO_4 H_2O g	μmol	ZnSO_4 $7 \text{H}_2\text{O}$ g	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7^*$ $10 \text{H}_2\text{O}$ g	μmol	CuSO_4 $5 \text{H}_2\text{O}$ g	Na_2MoO_4 $2 \text{H}_2\text{O}$ g
2	34	1	29	38	0.1	2.5	2.4
4	68	2	58	76	0.2	5.0	4.8
6	101	3	86	114	0.3	7.5	7.3
8	135	4	115	152	0.4	10.0	9.7
10	169	5	144	191	0.5	12.5	12.1
12	203	6	172	229	0.6	15.0	14.5
14	237	7	201	267	0.7	17.5	16.9
16	270	8	230	305	0.8	20.0	19.4
18	304	9	259	343	0.9	22.5	21.8
20	338	10	288	381	1.0	25.0	24.2
22	372	11	316	419	1.1	27.5	26.6
24	406	12	345	457	1.2	30.0	29.0
26	439	13	374	496	1.3	32.5	31.4
28	473	14	402	534	1.4	35.0	33.9
30	507	15	431	572	1.5	37.5	36.3

* Denk er aan dat $1 \text{ mol Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O} \cong 4 \text{ mol B}$.