

Auswirkungen von Landnutzungsänderungen in
den feuchten Tropen auf lokale Wasser- und Nährstoffkreisläufe

Auswirkungen von Landnutzungsänderungen in den feuchten Tropen auf lokale Wasser- und Nährstoffkreisläufe

Vom Regenwald zur Kakaopflanzung

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Carsten Gutzler
aus Freiburg

Göttingen 2011

D 7

Referent: Prof. Dr. Gerhard Gerold

Koreferent: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Tag der mündlichen Prüfung: 14.07.2011

EcoRegio

herausgegeben von
Prof. Dr. Gerhard Gerold
Geographisches Institut
der Universität Göttingen

Band 25

Carsten Gutzler

**Auswirkungen von Landnutzungsänderungen
in den feuchten Tropen auf lokale
Wasser- und Nährstoffkreisläufe**

Vom Regenwald zur Kakaopflanzung

D 7 (Diss. Universität Göttingen)

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0633-9

ISSN 1612-5894

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
I. ALLGEMEINER TEIL	5
1. Einleitung.....	6
1.1 Konversion von Regenwäldern.....	6
1.2 Kakaoanbau in Indonesien	7
1.3 Folgen der Regenwaldumwandlung für Wasser- und Nährstoffflüsse	8
1.4 Zielsetzung der Arbeit und Hypothesen.....	9
2. Methodischer Ansatz und verwendete Software	11
3. Untersuchungsgebiet	12
II. PLOT EXPERIMENTE	15
1. Vorstellung der Untersuchungsflächen.....	16
1.1 Untersuchungs-Plots.....	16
1.2 Referenz-Plots.....	18
1.3 Open Area D	19
1.4 Lage und Eigenschaften der Plots.....	19
2. Niederschlag	21
2.1 Definitionen	22
2.2 Versuchsaufbau.....	26
2.2.1 Instrumentierung	26
2.2.2 Messzeitraum	27
2.2.3 Feste- und veränderliche Sammlerpositionen.....	28
2.3 Datenaufbereitung und -auswertung.....	28
2.3.1 Zuverlässigkeit der Regenbestimmung mit Niederschlags-Totalistatoren	28
2.3.2 Zeitliche Auflösung der Regenmessungen.....	32
2.3.3 Berechnung von Bestands- und Freilandniederschlag.....	32
2.4 Ergebnisse.....	34
2.4.1 Niederschlagszunahme mit der Geländehöhe.....	34
2.4.2 Korrelation zwischen den Freiland-Stationen	36
2.4.3 Signifikanztests	38
2.4.4 Jährliche und zweijährige Bestandsniederschlags-Raten.....	45
2.4.5 BNR bei festen und veränderlichen Sammlerpositionen	47
2.4.6 Bestandsniederschlag nach Regenkategorien.....	48
2.4.7 Ergebnisse der Intensiv-Messkampagnen	50
2.4.8 Dripping Points	51
2.5 Diskussion.....	56

2.6 Fazit	58
3. Chemische Zusammensetzung des Niederschlags	59
3.1 Einleitung.....	59
3.2 Versuchsaufbau	60
3.2.1 Freilandniederschlag.....	60
3.2.2 Bestandsniederschlag	61
3.2.3 Beprobungszeitraum.....	62
3.2.4 Untersuchte Inhaltsstoffe	62
3.2.5 Technische Schwierigkeiten	63
3.3 Datenaufbereitung und -auswertung.....	64
3.3.1 Datenbereinigung	64
3.3.2 Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze.....	65
3.3.3 pH- und Leitfähigkeits-Werte.....	65
3.3.4 Volumengewichtete Mittelwerte (Vol. MW)	66
3.3.5 Anreicherungs-Faktor (AF)	66
3.4 Ergebnisse.....	67
3.4.1 Korrelationen zwischen Regenmenge und chemischen Parametern	67
3.4.2 Mittlere Zusammensetzung des Niederschlags	79
3.4.3 Verteilung der Messwerte.....	83
3.4.4 Anreicherungs-Faktoren	91
3.4.5 Signifikanztests	92
3.4.6 Vergleich der Freiland-Niederschläge	93
3.4.7 Frachten.....	96
3.5 Diskussion.....	99
3.6 Fazit	100
4. Zusammensetzung von Blatt- und Ast-Streu	101
4.1 Einleitung.....	101
4.2 Versuchsaufbau.....	102
4.2.1 Messzeitraum	102
4.2.2 Streufallen	102
4.2.3 Proben-Aufbereitung und untersuchte Inhaltsstoffe.....	102
4.3 Datenaufbereitung	103
4.3.1 Problem: Unterschätzung des Stoffeintrags	103
4.3.2 Ausschluss von Werten	103
4.4 Ergebnisse	104
4.4.1 Trockengewichte	104
4.4.2 Mittelwerte und Mediane.....	105
4.4.3 Verteilung der Messwerte.....	106
4.4.4 Signifikanztests	110
4.4.5 Frachten.....	112
4.5 Diskussion.....	112

4.6 Fazit	115
5. Zusammensetzung des Bodenwassers	116
5.1 Einleitung.....	116
5.2 Versuchsaufbau	116
5.2.1 Untersuchungszeitraum	116
5.2.2 Messstationen	117
5.2.3 Technische Schwierigkeiten	118
5.3 Datenaufbereitung	119
5.3.1 Ausschluss von Daten.....	119
5.4 Ergebnisse	120
5.4.1 Median-Werte	120
5.4.2 Tiefenprofile.....	123
5.4.3 Signifikanztests	131
5.5 Diskussion.....	132
5.6 Fazit	133
6. Zusammenfassende Betrachtung der Plot-Experimente	135
III. EINZUGSGEBIETS-UNTERSUCHUNGEN	141
1. Einzugsgebiet und Teileinzugsgebiet	142
1.1 Definition Einzugsgebiet (EZG).....	142
1.2 Instrumentierung des Einzugsgebiets.....	142
1.3 Digitales Geländemodell und Bodeneigenschaften.....	143
1.4 Landnutzung im Einzugsgebiet	146
2. Abflussverhalten	150
2.1 Einleitung.....	150
2.1.1 Transpiration und Evapo-Transpiration	150
2.1.2 Auswirkungen von Entwaldung auf das Abflussverhalten	151
2.1.3 Regenwald, Ackerfläche und Agroforst	152
2.1.4 Einzugsgebiets-Untersuchungen zu Effekten von Landnutzungsänderung.....	154
2.2 Untersuchungsaufbau	156
2.2.1 Messzeitraum	156
2.2.2 Überfall-Wehre.....	156
2.2.3 Messgeräte	159
2.3 Datenaufbereitung	160
2.3.1 Schließen von Daten-Lücken.....	160
2.3.2 Wasserstand-Abfluss Beziehung.....	160
2.4 Ergebnisse	163
2.4.1 Wasserstände.....	163
2.4.2 Abflussmengen: Tagessummen	164

2.4.3 Abflussmengen: Monatssummen	166
2.4.4 Monatliche Abflusskoeffizienten	166
2.4.5 Abfluss, Transpiration und Evapo-Transpiration	168
2.5 Diskussion.....	169
2.6 Fazit	170
3. Chemische Zusammensetzung der Abflüsse.....	171
3.1 Einleitung.....	171
3.2 Untersuchungsaufbau	172
3.2.2 Untersuchungszeitraum und Probennahme	172
3.2.3 Chemische Analyse	172
3.3 Datenaufbereitung	172
3.3.1 Abflussgewichteter Mittelwert.....	172
3.4 Ergebnisse.....	174
3.4.1 Mittlere chemische Zusammensetzung	174
3.4.2 Verteilung der Messwerte.....	176
3.4.3 Signifikanztests	183
3.4.4 Unterschiede zwischen den (Teil-) Einzugsgebieten.....	184
3.5 Diskussion.....	186
3.6 Fazit	186
4. Zusammenfassende Betrachtung der Einzugsgebiets- Untersuchungen.....	187
IV. ÜBERPRÜFUNG DER FORSCHUNGS-HYPOTHESEN.....	189
V. LITERATURVERZEICHNIS.....	192

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lage und Eigenschaften der Plots.....	20
Tabelle 2: Effekt der Eliminierung von Overflow-Terminen auf die BNR	30
Tabelle 3: BNR bei Korrektur von Overflow-Terminen auf 0% Interzeption	31
Tabelle 4: Effekt der Korrektur von Overflow-Terminen auf 0% Interzeption auf die BNR ..	31
Tabelle 5: Regenzunahme mit der Höhe	35
Tabelle 6: Korrelation Niederschlags-Monatssummen der Freiflächen	36
Tabelle 7: Median und Quartile Freiland-Niederschlag (Auslesetermine)	39
Tabelle 8: Kruskal-Wallis ANOVA für Freiland-Niederschläge (Auslesetermine)	41
Tabelle 9: Median-Test für Freiland-Niederschläge (Auslesetermine)	41
Tabelle 10: Mediane und Quartile BNR.....	42
Tabelle 11: Kruskal-Wallis ANOVA für BNR.....	44
Tabelle 12: Median-Test für BNR.....	44
Tabelle 13: Kruskal-Wallis ANOVA für BNR (paarweise).....	44
Tabelle 14: Median-Test für BNR (paarweise).....	44
Tabelle 15: Niederschlagsmengen, Interzeptionsverlust und BNR	46
Tabelle 16: BNR und Regenmenge während Messung mit ortsfesten Sammlern	47
Tabelle 17: BNR und Regenmenge während Messung mit wechselnden Sammlerpositionen ..	47
Tabelle 18: BNR und Regenmengen 1. Jahr, 2. Jahr und 24 Monate.....	48
Tabelle 19: Freiland-Niederschläge während der Intensiv-Messkampagnen	50
Tabelle 20: Bestands-Niederschläge während der Intensiv-Messkampagnen	50
Tabelle 21: BNR während der Intensiv-Messkampagne 01.12. - 31.12.2008	51
Tabelle 22: BNR während der Intensiv-Messkampagne 16.04. - 16.05.2009	51
Tabelle 23: Dripping Points im Kakao 17 J. Plot.....	55
Tabelle 24: Analysierte chem. Parameter Niederschlag	62
Tabelle 25: Messgeräte und Bestimmungsgrenzen Niederschlagsproben	63
Tabelle 26: Korrelationsmatrix für Regenproben Kakao 6 J.....	68
Tabelle 27: Korrelationsmatrix für Regenproben Kakao 17 J. Plot	70
Tabelle 28: Korrelationsmatrix für Regenproben Regenwald.....	72
Tabelle 29: Korrelationsmatrix für Regenproben Open Area D	74
Tabelle 30: Mittlere Niederschlags-Konzentrationen: Elemente.....	80
Tabelle 31: Mittlere Niederschlags-Konzentrationen: P- und N-Verbindungen.....	81
Tabelle 32: Mittlere Niederschlags-Werte und Konzentrationen: pH, LF und Kohlenstoff ...	82
Tabelle 33: Anreicherungs-Faktoren Niederschläge.....	91
Tabelle 34: Signifikanztest für chem. Parameter Niederschläge (Kruskal-Wallis ANOVA) ..	92
Tabelle 35: Signifikanztest für chem. Parameter Niederschläge (Median-Test)	93
Tabelle 36: Median-Konzentrationen: Niederschläge Freiflächen	94
Tabelle 37: Volumengewichtete Mittelwerte: Niederschläge Freiflächen.....	95
Tabelle 38: Mittlere jährliche Niederschlagsmenge.....	96
Tabelle 39: Frachten in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ für erfassten Jahresniederschlag.....	96
Tabelle 40: Bestandsniederschlag bei 2500 mm Freilandniederschlag	97
Tabelle 41: Frachten in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ bei 2500 mm Freilandniederschlag	97
Tabelle 42: Anreicherungs-faktoren tropischer Regenwald	99
Tabelle 43: Anreicherungs-faktoren Kakao-Plantagen	99
Tabelle 44: Untersuchte chemische Parameter in Streuproben	102
Tabelle 45: Messgeräte und Bestimmungsgrenzen bei Streu-Proben.....	103
Tabelle 46: Trockengewichte Blätter	104
Tabelle 47: Trockengewichte Äste	104
Tabelle 48: Streueintrag pro Hektar und Jahr.....	105
Tabelle 49: Parameter-Mittelwerte der Blatt-Streu.....	105

Tabelle 50: Parameter-Mediane der Blatt-Streu	105
Tabelle 51: Parameter-Mittelwerte der Ast-Streu	106
Tabelle 52: Parameter-Mediane der Ast-Streu	106
Tabelle 53: Kruskal-Wallis ANOVA für Parameter der Blatt-Streu	110
Tabelle 54: Median-Test für Parameter der Blatt-Streu	110
Tabelle 55: Kruskal-Wallis ANOVA für Parameter der Ast-Streu	111
Tabelle 56: Median-Test für Parameter der Ast-Streu	111
Tabelle 57: Frachten in Streuproben [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$]	112
Tabelle 58: Streueintrag in Kakao-Flächen unterschiedlichen Alters	114
Tabelle 59: Anzahl der Probennahmen für Bodenwasser-Untersuchungen	118
Tabelle 60: Median-Konzentrationen Bodenwasser in Kakao 6 J. Fläche	120
Tabelle 61: Median-Konzentrationen Bodenwasser in Kakao 17 J. Fläche	121
Tabelle 62: Median-Konzentrationen Bodenwasser in Regenwald-Fläche	121
Tabelle 63: Kruskal-Wallis ANOVA chem. Parameter Bodenwasser	131
Tabelle 64: Median-Test chem. Parameter Bodenwasser	132
Tabelle 65: Geographische Lage der Messwehre	143
Tabelle 66: Eigenschaften der untersuchten (Teil-) Einzugsgebiete	144
Tabelle 67: Landnutzungsänderung im Oberen Einzugsgebiet 2001 – 2007	149
Tabelle 68: Landnutzungsänderung im Unteren Teileinzugsgebiet 2001 – 2007	149
Tabelle 69: Änderung der Landnutzung 2001-2004 und 2004-2007	149
Tabelle 70: Wehrmaße	157
Tabelle 71: Schwellenwert-Wasserstände	159
Tabelle 72: Monatssummen der Abflüsse	166
Tabelle 73: Monatliche Abflusskoeffizienten	167
Tabelle 74: Oberes Wehr: Jahresabfluss, Transpiration und Evapo-Transpiration	168
Tabelle 75: Unteres Wehr: Jahresabfluss und Evapo-Transpiration	168
Tabelle 76: Konzentrationsänderung bei Hochwasserabflüssen	173
Tabelle 77: Mittlere Konz. der Abflüsse an den Messwehren: Elemente	174
Tabelle 78: Mittlere Konz. der Abflüsse an den Messwehren: P- und N-Verbindungen	175
Tabelle 79: Mittlere Werte und Konz. der Abflüsse an den Messwehren: pH, LF und Kohlenstoff	176
Tabelle 80: Signifikanztest chem. Parameter der Abflüsse (Mann-Whitney U-Test)	183
Tabelle 81: Abflussgewichtete Konzentrationen in den (Teil-)EZG	185
Tabelle 82: Jahres-Austrag der untersuchten Inhaltsstoffe in den (Teil-)EZG	185
Tabelle 83: Mittlere Abfluss-Konzentrationen in tropischen Flüssen	186

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Sulawesi, SFB Projektgebiet und LLNP (ERASMI et al. 2004)	13
Abb. 2: SFB-Projektgebiet (LEEMHUIS et al. 2007)	14
Abb. 3: Kakao 17 J. Plot (08.2008)	16
Abb. 4: Kakao 6 J. Plot (08.2008)	16
Abb. 5: Regenwald Plot (09.2008)	17
Abb. 6: Open Area D (03.2007)	19
Abb. 7: Lage der Plots und Referenzflächen	21
Abb. 8: Niederschlag im Zentrum des LLNP 1° 18' S, 120° 5' O, 1000 m. ü. M.	23
Abb. 9: Niederschlags-	26
Abb. 10: Regenzunahme mit der Höhe	35
Abb. 11: Niederschlags-Monatssummen Freiflächen	36
Abb. 12: Scatterplot monatl. Niederschlag Regenwald Ref. vs. Open Area D	37

Abb. 13: Scatterplot monatl. Niederschlag Regenwald Ref. vs. Kakao 6 J. Ref.	37
Abb. 14: Scatterplot monatl. Niederschlag Regenwald Ref. vs. Kakao 17 J. Ref.	37
Abb. 15: Boxplot Niederschläge Referenzflächen (Auslesetermine)	38
Abb. 16: Histogramme der Freiland-Niederschläge	40
Abb. 17: Box-Plot BNR mit Ausreißerdarstellung	42
Abb. 18: Histogramme der BNR	43
Abb. 19: BNR 1. Jahr, 2. Jahr und 24 Monate bei Kakao-Flächen und Regenwald	45
Abb. 20: BNR nach Niederschlags-Kategorien	49
Abb. 21: Dripping Points im Kakao 6 J.	52
Abb. 22: Dripping Points im Kakao 17 J.	53
Abb. 23: Dripping Points im Regenwald	53
Abb. 24: Mischtonne für BN-Proben	61
Abb. 25: Scatterplot Magnesium und Kalzium im Kakao 17 J. Plot	77
Abb. 26: Scatterplot DIC und Phosphor im Regenwald-Plot	77
Abb. 27: Scatterplot Kalium und Phosphor im Kakao 17 J. Plot	78
Abb. 28: Scatterplot Phosphor und tNb im Kakao 6 J. Plot (mit Ausreißer)	78
Abb. 29: Scatterplot Phosphor und tNb im Kakao 6 J. Plot (ohne Ausreißer)	79
Abb. 30: Niederschläge Boxplot K (n = 122-131; 379)	83
Abb. 31: Niederschläge Boxplot Mg (n = 120-130; 380)	84
Abb. 32: Niederschläge Boxplots Si (n = 119-129; 380)	84
Abb. 33: Niederschläge Boxplot Ca (n = 121-130; 380)	85
Abb. 34: Niederschläge Boxplot Na (n = 121-129; 380)	85
Abb. 35: Niederschläge Boxplot pH (n = 118-131; 384)	86
Abb. 36: Niederschläge Boxplot Leitfähigkeit (n = 121-130; 387)	86
Abb. 37: Niederschläge Boxplot P (n = 84-92; 264)	87
Abb. 38: Niederschläge Boxplot PO ₄ -P (min.) (n = 111-117; 354)	88
Abb. 39: Niederschläge Boxplot PO ₄ -P (max.) (n = 111-117; 354)	88
Abb. 40: Niederschläge Boxplot tNb (n = 44-47; 136)	89
Abb. 41: Niederschläge Boxplots DC (n = 45-49; 143)	89
Abb. 42: Niederschläge Boxplots DOC (n = 44-49; 143)	90
Abb. 43: Niederschläge Boxplots DIC (n = 45-50; 145)	90
Abb. 44: Streufälle	102
Abb. 45: Streu Boxplot C	107
Abb. 46: Streu Boxplot N	107
Abb. 47: Streu Boxplot Ca	107
Abb. 48: Streu Boxplot K	108
Abb. 49: Streu Boxplot Mg	108
Abb. 50: Streu Boxplot Na	108
Abb. 51: Streu Boxplot Fe	109
Abb. 52: Streu Boxplot Mn	109
Abb. 53: Streu Boxplot P	109
Abb. 54: Saugpumpenstation mit Sammelgefäßen	117
Abb. 55: Tiefenprofil Median-Konzentration Ca	123
Abb. 56: Tiefenprofil Median-Konzentration K	124
Abb. 57: Tiefenprofil Median-Konzentration Mg	124
Abb. 58: Tiefenprofil Median-Konzentration Na	125
Abb. 59: Tiefenprofil Median-Konzentration Si	125
Abb. 60: Tiefenprofil Median-Konzentration P	126
Abb. 61: Tiefenprofil Median-Konzentration PO ₄ -P (min.)	126
Abb. 62: Tiefenprofil Median-Konzentration PO ₄ -P (max.)	126
Abb. 63: Tiefenprofil Median-Konzentration tNb	127

Abb. 64: Tiefenprofil Median-Konzentration NO ₃ -N (min.)	128
Abb. 65: Tiefenprofil Median-Konzentration NO ₃ -N (max.).....	128
Abb. 66: Tiefenprofil Median-Wert pH.....	129
Abb. 67: Tiefenprofil Median-Wert Leitfähigkeit	129
Abb. 68: Tiefenprofil Median-Konzentration DC	130
Abb. 69: Tiefenprofil Median-Konzentration DIC	130
Abb. 70: Tiefenprofil Median-Konzentration DOC.....	130
Abb. 71: Wasser- und Nährstoffflüsse Kakao 6 J.	138
Abb. 72: Wasser- und Nährstoffflüsse Kakao 17 J.	139
Abb. 73: Wasser- und Nährstoffflüsse Regenwald	140
Abb. 74: Höhenmodell des Gesamt-Einzugsgebiets (KLEINHANS 2003)	144
Abb. 75: Bodenkarte des Einzugsgebiets, verändert nach KLEINHANS 2003	145
Abb. 76: Landnutzung in den Teileinzugsgebieten Stand 2004 (ROHWER 2006).....	147
Abb. 77: Landnutzungsänderung im Einzugsgebiet 2001-2007 (ROHWER 2008)	148
Abb. 78: Frontalansicht Überlaufwehr	157
Abb. 79: Durchflussprofil niedrige Wasserstände	158
Abb. 80: Durchflussprofil hohe Wasserstände	158
Abb. 81: Durchflussprofil extrem hohe Wasserstände.....	158
Abb. 82: Pegelstände 05.06.2007 bis 04.06.2009	163
Abb. 83: Tagesabflüsse der Teileinzugsgebiete.....	164
Abb. 84: Regenmengen und Abflusssummen oberes EZG	165
Abb. 85: Regenmengen und Abflusssummen unteres Teil-EZG	165
Abb. 86: Verhältnis monatl. Regenmenge und Abflusskoeffizient	167
Abb. 87: Abflüsse Boxplot Ca (n = 89, 91).....	177
Abb. 88: Abflüsse Boxplot K (n = 93, 92).....	177
Abb. 89: Abflüsse Boxplot Mg (n = 89, 90).....	178
Abb. 90: Abflüsse Boxplot Na (n = 93, 90).....	178
Abb. 91: Abflüsse Boxplot Si (n = 89, 91).....	178
Abb. 92: Abflüsse Boxplot pH (n = 89, 89).....	179
Abb. 93: Abflüsse Boxplot LF (n = 93, 93).....	179
Abb. 94: Abflüsse Boxplot DC (n = 19, 19).....	179
Abb. 95: Abflüsse Boxplot DIC (n = 17, 19).....	180
Abb. 96: Abflüsse Boxplot DOC (n = 19, 19).....	180
Abb. 97: Abflüsse Boxplot P (n = 77, 77).....	181
Abb. 98: Abflüsse Boxplot PO ₄ -P (min.) (n = 85, 87).....	181
Abb. 99: Abflüsse Boxplot PO ₄ -P (max.) (n = 85, 87).....	181
Abb. 100: Abflüsse Boxplot tNb (n = 18, 18).....	182
Abb. 101: Abflüsse Boxplot NO ₃ -N (min.) (n = 83, 87).....	182
Abb. 102: Abflüsse Boxplot NO ₃ -N (max.) (n = 84, 85).....	183

Formelverzeichnis

Formel 1: Definition Bestandsniederschlag.....	23
Formel 2: Volumengewichteter Mittelwert Niederschlagsproben.....	66
Formel 3: Anreicherungs-Faktor	66
Formel 4: Allgemeine Wasserhaushaltsgleichung	151
Formel 5: Evapo-Transpiration	151
Formel 6: Transpiration	151
Formel 7: Wasserstand-Abfluss Beziehung bei Einschnürungs-Profil.....	161
Formel 8: Wasserstand-Abfluss Beziehung bei Rechteck-Profil	161
Formel 9: Wasserstand-Abfluss Beziehung bei Trapez-Profil.....	162
Formel 10: Volumengewichteter Mittelwert Abfluss-Proben	173
Formel 11: Mischung zweier Wässer unterschiedlicher Konzentrationen	184
Formel 12: Abschätzung der Konzentrationen im unteren Teil EZG.....	184

Abkürzungsverzeichnis

Allgemein

µg:	Mikrogramm
a:	Jahr
aET:	aktuelle Evapo-Transpiration
AF:	Anreicherungs-Faktor
BN:	Bestandsniederschlag
BNR:	Bestandsniederschlags-Rate
DBH:	(Stamm-) Durchmesser in Brusthöhe (130 cm)
DfG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
EZG:	Einzugsgebiet
FN:	Freilandniederschlag
g:	Gramm
ha:	Hektar
LAI:	Blattflächen-Index (Leaf Area Index)
mg:	Milligramm
Mio.:	Millionen
m ü. M.	Meter über Meeresspiegel
MW:	Mittelwert
N:	Niederschlag
NT:	Niederschlags-Totalisatoren
n.f.:	Nicht feststellbar
p-Wert:	Wahrscheinlichkeits-Maß
Q:	Abfluss
r:	Korrelations-Koeffizient
SFB:	Sonderforschungsbereich
t:	Tonne
Teil-EZG:	Teileinzugsgebiet
Vol.:	Volumen
Vol. MW:	Volumengewichteter Mittelwert

Chemisch/physikalisch

°C:	Grad Celsius
μS:	Mikro-Siemens
C _(x)	Konzentration einer Probe x
Ca:	Kalzium
DC:	gelöster Kohlenstoff
DIC:	gelöster anorganischer Kohlenstoff
DOC:	gelöster organischer Kohlenstoff
g:	Fallbeschleunigung [m/s ²]
K:	Kalium
LF:	Leitfähigkeit
mbar:	Millibar
Mg:	Magnesium
Mn:	Mangan
N:	Stickstoff
Na:	Natrium
NH ₄ :	Ammonium
NO ₃ :	Nitrat
P:	Phosphor
	negativer dekadischer Logarithmus der H ⁺ -Ionen
pH:	Aktivität
PO ₄ :	Orthophosphat
Si:	Silizium
tdP:	gesamt gelöster Phosphor
tNb:	gesamt gebundener Stickstoff
TOC:	gesamt organischer Kohlenstoff

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die tatkräftige Unterstützung zahlreicher Personen nicht möglich gewesen. Alle hier zu nennen würde mehrere Seiten füllen. Besonders danken möchte ich aber meinen Mitarbeitern Dudin Sulaeman, Kemyl Latupono, Rickson Tiranda und Pak Risman für ihren unermüdlichen Einsatz. Ihr wart großartig! Ebenfalls außerordentlich dankbar bin ich Moritz Engbers, Jan-Paul Krüger und Per Schleuss für ihre Hilfe bei der Aufarbeitung der Rohdaten. Ohne Euch wäre ich mit Sicherheit verzweifelt. Für seinen Rat in statistischen Fragen und darüber hinaus danke ich besonders Herrn Dr. Hagelberger.

An alle Unterstützer, Freunde und Kollegen, die mir in dieser schwierigen Zeit der Arbeitserstellung geholfen haben, ein von ganzem Herzen kommendes Danke!

Ich danke zudem der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Teilprojektes B2 (Prof. Dr. G. Gerold) im SFB 552. Ebenso danke ich Prof. Dr. Gerold für die Betreuung dieser Arbeit sowie Prof. Dr. Schmidt für die Übernahme des Koreferats.

DANKE!