

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Problemstellung	
1.1	Einführung	1
1.1.1	Äolische Substanzen	1
1.1.2	Kenntnisstand über äolische Beimengungen in Böden	5
1.1.2.1	Wissenschaftsgeschichtlicher Rückblick	5
1.1.2.2	Jüngere Literatur	6
1.2	Problemstellung und Zielsetzung	10
1.3	Mögliche und angewandte Vorgehensweisen	12
1.3.1	Depositionsmessungen	12
1.3.2	Identifizierung von Stäuben in Böden	13
1.3.3	Angewandte Vorgehensweise	14
2	Kenntnisstand über Staubaustrag aus der Sahara	
2.1	Staubausbreitung	16
2.2	Mineralische Zusammensetzung des Sahara-Staubes	18
2.3	Staubdepositionen der Vergangenheit in den Untersuchungs-Regionen	21
3	Untersuchungsstandorte	
3.1	Geographische Lage	24
3.2	Geologie und Lithologie	25
3.3	Klima	28
3.4	Vegetation und Nutzung	31
3.5	Böden	34
4	Staubaus- und -eintrag in den untersuchten Böden	
	- Analyseergebnisse und Diskussion -	
4.1	Gneis-Böden Süd-Ägyptens	42
4.1.1	Bodenentwicklung	42
4.1.2	Äolische Material-Zumischung	47
4.1.2.1	Rezente Material-Zumischung	47
4.1.2.2	Subrezente Material-Zumischung	48
4.1.3	Material-Abfuhr	50
4.1.4	Zusammenfassende Darstellung der Bodenentwicklung	53
4.2	Basaltische Böden Lanzarotes	56
4.2.1	Bodenentwicklung	56
4.2.2	Quarzgehalte	60
4.2.3	Quarzgehalte und Textur	65
4.2.4	Verlagerung von Quarz im Boden	67
4.2.5	Quarz und Element-Gesamtgehalte	69
4.2.6	Begleitminerale äolischer Quarze	73
4.2.6.1	Feldspäte	73
4.2.6.2	Tonminerale	75
4.2.6.3	Karbonate	78
4.2.7	Zusammenfassung und Quantifizierung der Staubeinträge	82
4.3	Karbonatgesteins-Böden Süd-Portugals	85
4.3.1	Bodenentwicklung	85
4.3.2	Quarzgehalte	88
4.3.3	Quarz und Element-Gesamtgehalte	91
4.3.4	Quarz und begleitende Minerale	93
4.3.4.1	Feldspäte und Magnetit	93
4.3.4.2	Tonminerale	98
4.3.5	Zusammenfassung und Quantifizierung der Staubeinträge	101

IX

4.4	Karbonatgesteins-Böden Nordwest-Ägyptens	105
4.4.1	Bodenentwicklung	105
4.4.2	Äolische Material Zumischung	106
4.5	Ein Serpentin-Boden der Süd-Türkei	111
4.5.1	Bodenentwicklung	111
4.5.2	Quarzgehalte	113
4.5.3	Verlagerung von Quarz im Boden	114
4.5.4	Quarz und Element-Gesamtgehalte	114
4.5.5	Quarz und begleitende Minerale	116
4.5.5.1	Feldspäte	116
4.5.5.2	Tonminerale	117
4.5.6	Zusammenfassung und Quantifizierung der Staubeinträge	119
4.6	Basaltische Böden Nordost-Israels	121
4.6.1	Bodenentwicklung	121
4.6.2	Quarzgehalte	123
4.6.3	Quarz und begleitende Minerale	125
4.6.3.1	Karbonat	125
4.6.3.2	Feldspäte	126
4.6.3.3	Tonminerale	126
4.6.4	Zusammenfassung und Quantifizierung der Staubeinträge	126
4.7	Quantitäten, zeitliche und räumliche Variabilität äolischer Umlagerungen	128
4.7.1	Quantitäten der Einträge nach Transportarten	128
4.7.2	Zeitliche und räumliche Variabilität der äolischen Einträge	131
4.7.3	Zonalität äolischer Einträge	137
5	Auswirkungen äolischer Umlagerungen auf die Bodenentwicklung	
5.1	Profilmorphologie	139
5.2	Mineralbestand	140
5.3	Verwitterung	142
5.4	Texturentwicklung (Verlehmung)	145
5.5	Fe-Oxidbestand (Verbraunung und Rubefizierung)	147
5.6	Karbonatisierung	149
5.7	Versalzung	151
5.8	Zusammenfassung der Auswirkungen auf die Bodenentwicklung	152
6	Auswirkungen äolischer Umlagerungen auf ökologische Standortseigenschaften	
6.1	Allgemeines zur Standortsbewertung	154
6.2	Gründigkeit und Durchwurzelbarkeit	154
6.3	Wasser- und Lufthaushalt	155
6.4	Wärmehaushalt	158
6.5	Nährstoffhaushalt	159
6.6	Zusammenfassung der Auswirkungen auf Standortseigenschaften	161
7	Literatur	163
Anhang 1	Anmerkungen zu den Datenblättern	177
Anhang 2	Profilbeschreibungen	178
Anhang 3	Analysendaten Böden S-Ägypten	188
Anhang 4	Analysendaten Böden Lanzarote	190
Anhang 5	Analysendaten Böden S-Portugal	198
Anhang 6	Analysendaten Böden NW-Ägypten	202
Anhang 7	Analysendaten Boden S-Türkei	204
Anhang 8	Analysendaten Böden NE-Israel	206
Anhang 9	Methoden	208
Anhang 10	Abkürzungen	213

Verzeichnis der Figuren

1 Einführung und Problemstellung

- Fig. 1: Vergleich der Korngrößenverteilung in äolischen Akkumulationsformen von Flugsand, LÖB und Sahara-Staub auf den Kapverd. Inseln sowie von atmosphärischem Staub auf Barbados 3

2 Kenntnisstand über Staubaustrag aus der Sahara

- Fig. 2: Haupttransportwege von Stäuben aus der Sahara und Lage der untersuchten Standorte 16
- Fig. 3: Saisonale Anzahl der Dunststage über dem Meer 17
- Fig. 4: Tonmineralzusammensetzung in Stäuben (Fraktion $<2\mu\text{m}$) über dem östlichen Atlantik, im Thyrrenischen Meer und in Israel 19
- Fig. 5: Verteilung von Quarz und Kaolinit in atlantischen Sedimenten 19

3 Untersuchungsstandorte

- Fig. 6: Lage der untersuchten Standorte in den Klimazonen 24
- Fig. 7: Böden des Bir Safsaf Gneis-Komplexes 34
- Fig. 8: Geologischer Bau Lanzarotes, Lage der untersuchten Standorte und schematische Abfolge der Böden 36
- Fig. 9: Geologischer Schnitt von der Hügelzone in die Küstenebene nördlich von Faro und Lage der untersuchten Böden 37
- Fig. 10: Schnitt durch das libysche Plateau und typische Bodencatenen der nördlichen Hochebenen und der südlichen Tafelberge 38
- Fig. 11: Bodenabfolge im Serpentingebiet des Amanos-Gebirges 39
- Fig. 12: Geologie des Golan und Lage der untersuchten Standorte 41

4 Staubauss- und -eintrag in den untersuchten Böden

4.1 Gneis-Böden Süd-Ägyptens

- Fig. 13: Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Lagerungsdichte, Fe-Oxide und Tonmineralbestand der Gneis-Böden Süd-Ägyptens 43
- Fig. 14: Tiefenfunktionen von Gesamtgehalten der Gneis-Böden Süd-Ägyptens 44
- Fig. 15: Verhältnis zwischen den Gehalten an Ton und Fe-Oxiden (Fe_d) und dem Anteil der Fe-Oxide am Gesamt-Fe ($\text{Fe}_{d/t}$) 45
- Fig. 16: Verhältnis zwischen den Gehalten an Kaolinit zu Schluff (U), Feinsand (fS) und Mittelsand (mS) 45
- Fig. 17: Tiefenfunktionen des Mineralbestandes in Grobsand, Mittelsand, Feinsand, Schluff, Feinerde und Gesamtboden 46
- Fig. 18: Mischung der Sandstein- und Gneis-Komponenten, sowie Material-Austräge während der äolischen Umlagerung. Schematisch in Verhältniszahlen 54
- Fig. 19: Zusammensetzung der einzelnen Bodenkomponenten, Mineralumsätze und -verluste in kg/m^2 55

4.2 Basaltische Böden Lanzarotes

- Fig. 20a: Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonat, organischer Substanz, Oxiden und Tonmineralen der basaltischen Böden Lanzarotes (Böden IV_B und IV_A) 57
- Fig. 20b: Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonat, organischer Substanz, Oxiden und Tonmineralen der basaltischen Böden Lanzarotes (Böden III) 58
- Fig. 20c: Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonat, organischer Substanz, Oxiden und Tonmineralen der basaltischen Böden Lanzarotes (Böden I) 59
- Fig. 21a: Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde (Böden IV_B und IV_A) 61
- Fig. 21b: Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde (Böden III) 62
- Fig. 21c: Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde (Böden I) 64

Fig. 22:	Tiefenfunktionen des Gehaltes an Quarz und org. Substanz im Boden La-III-502	63
Fig. 23:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem Schluffgehalt der Böden III und I	66
Fig. 24:	Tiefenfunktionen der relativen Quarzmengen in den Fraktionen Sand, Schluff und Ton	68
Fig. 25:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem SiO ₂ -Gehalt	69
Fig. 26:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem Fe ₁ -Gehalt	70
Fig. 27:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem TiO ₂ -Gehalt	70
Fig. 28:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem K ₂ O-Gehalt	71
Fig. 29:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem Na ₂ O-Gehalt	72
Fig. 30:	Korrelation des Quarzgehaltes mit dem CaO-Gehalt	73
Fig. 31:	Röntgenbeugungsdiagramme der Schluff-Fractionen zweier Bodenhorizonte und einer Levante-Staubprobe	74
Fig. 32:	Korrelation der Höhe einiger Feldspat-Peaks mit dem Quarzgehalt	75
Fig. 33:	Korrelation der Tonmineral-Gehalte mit dem Quarz-Gehalt	76
Fig. 34:	Röntgenbeugungsdiagramme un behandelter und HCl-behandelter Pulverpräparate	80
Fig. 35:	Schematische Zusammensetzung der äolischen und basaltischen Komponenten im Boden La-III-570	84
4.3 Karbonatgesteins-Böden Süd-Portugals		
Fig. 36a:	Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonat, organischer Substanz, Fe-Oxiden und Tonmineralen des Stagnic Cambisols (Portugal)	85
Fig. 36b:	Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonat, organischer Substanz, Fe-Oxiden und Tonmineralen der Kalksteinböden Portugals	86
Fig. 37a:	Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde (Portugal)	88
Fig. 37b:	Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde (Portugal)	89
Fig. 38:	Korrelation der Gesamtgehalte mit dem Quarzgehalt	92
Fig. 39:	Röntgenbeugungsdiagramme der Oberböden von Rodriguez, Moleiro, Ministro und Guilhim sowie des Schluffs der Kalklösungsrückstände der anstehenden Gesteine	95
Fig. 40:	Röntgenbeugungsdiagramme verschiedener Fraktionen des Oberbodens von Borba, dem KLR des anstehenden Marmors und einem Ganggestein	96
Fig. 41:	Korrelation der relativen Peakhöhe bei 3,24 Å mit dem Quarzgehalt (Fraktion 30 bis 200 µm)	97
Fig. 42:	Korrelation der relativen Peakhöhe bei 3,70 Å mit dem Quarzgehalt in den Fraktionen 30-200 und 200-2000 µm	97
Fig. 43:	Tonmineralbestand der Kalksteinböden Portugals	100
Fig. 44:	Gegenüberstellung der auf Ton berechneten K _t -Gehalte und den Illit-Gehalten	101
4.4 Karbonatgesteins-Böden Nordwest-Ägyptens		
Fig. 45:	Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonaten, Fe-Oxiden, Tonmineralbestand und Gesamtgehalten der Böden NW-Ägyptens	106
Fig. 46:	Zusammensetzung des Yermi-Luvi Chromic Cambisol NWÄ-24 aus den Komponenten Flugsand, Löß und Dolomitlösungsrückstand	109
4.5 Ein Serpentin-Boden der Süd-Türkei		
Fig. 47:	Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, organischer Substanz, Fe-Oxiden und Tonmineralen des Luvisols aus Serpentin (S-Türkei)	111
Fig. 48:	Röntgenbeugungsdiagramme der Steine aus Profil Tü-161, eines Serpentinbegleitsteines und eines Sandsteines	112
Fig. 49:	Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde des Luvisols aus Serpentin (S-Türkei)	113

Fig. 50:	Gehalte an Ca, K und P von Sand-, Schluff- und Tonfraktion in Abhängigkeit des Quarzgehaltes im Serpentinic Chromic Luvisol	115
Fig. 51:	Korrelation der Peakhöhe von Feldspatlinien mit dem Quarzgehalt in den Fraktionen von Grus (Gr), Sand (S) und Schluff (U)	116
Fig. 52:	Röntgenbeugungsdiagramme der Tonfraktionen aus Boden Tü-161	118
Fig. 53:	Korrelation der Tonmineralegehalte mit dem Quarzgehalt	119
4.6 Basaltische Böden Nordost-Israels		
Fig. 54:	Tiefenfunktionen von Steingehalt, Textur, Karbonat, organischer Substanz (OS), Fe-Oxiden und Tonmineralen	121
Fig. 55:	Tiefenfunktionen der Quarzgehalte in Fraktionen und Feinerde (karbonatfrei)	124
4.7 Quantitäten, zeitliche und räumliche Variabilität äolischer Umlagerungen		
Fig. 56:	Quantitative Zusammensetzung der einzelnen Komponenten in den untersuchten Böden nach Transportart	129
Fig. 57:	Äolische Einträge der untersuchten Böden nach Zeitraum der Bodenentwicklung und Klimaraum	133
Fig. 58:	Schematische Abfolge der die Böden aufbauenden Materialien entlang eines Niederschlagsgradienten	137
5 Auswirkungen äolischer Umlagerungen auf die Bodenentwicklung		
Fig. 59:	Kornverteilungskurven von Horizonten unterschiedlicher Materialzusammensetzung aus Böden Lanzarotes, S-Portugals und NW-Ägyptens	146
Fig. 60:	Abhängigkeit von Fe_d , $Fe_{o/d}$ und $Fe_{d/t}$ vom Quarzgehalt in den Böden Lanzarotes	148
Fig. 61:	Abhängigkeit der Mengen wasserlöslicher Kationen von den Mengen an Ton, Schluff und Sand in Böden Lanzarotes	152
6 Auswirkungen äolischer Umlagerungen auf ökol. Standortseigenschaften		
Fig. 62:	Unterschiede von Korn- und Porengrößenverteilung zwischen Ober- und Unterböden in Kalksteinböden S-Portugals	157
Anhang 9		
Fig. 63:	Korrelation der mit Differential-Thermo-Analyse (DTA) und Röntgenbeugungsanalyse (RBA) ermittelten Quarzgehalte und verwendete Eichkurve für die RB-Analyse	212
Verzeichnis der Tabellen		
1 Einführung und Problemstellung		
Tab. 1:	Klassifizierungen äolischer Substanzen	2
2 Kenntnisstand über Staubaustrag aus der Sahara		
Tab. 2:	Zusammensetzung äolischer Stäube und Meeressedimente in den Untersuchungsgebieten	21
3 Untersuchungsstandorte		
Tab. 3:	Meereshöhe, mittlerer jährlicher Niederschlag, mittlere Jahrestemperatur und Klima-typ der untersuchten Standorte	28
4 Staubaus- und -eintrag in den untersuchten Böden		
4.1 Gneis-Böden Süd-Ägyptens		
Tab. 4:	Ausgangszusammensetzung und Veränderung der Mischungskomponenten aus dem Gebiet der nubischen Sandstein-Serien und des Gneises zur Mischungsrechnung der Böden AH-2, -4 und -7	49
Tab. 5:	Menge und Anteile der Sandsteinkomponenten am Gesamtboden, an Quarz-Einzelkörnern und an Tonmineralen der Böden AH-2, -4 und -7. Berechnet auf Basis der Kaolinitmengen	49

Tab. 6:	Vorhandene Profil-Mineralmengen (Gesamtboden) und Anteile an den Soll-Mineralmengen der Böden AH-1, -2, -4 und -7	51
Tab. 7:	Nach Tab. 6 berechnete (minimale) Mineralverluste der Böden AH-1, -2, -4 und -7	51
Tab. 8:	Elementumsätze durch Primärmineral-Verluste und Sekundärmineral-Gewinne der Böden AH-2, -4 und -7	52
4.2 Basaltische Böden Lanzarotes		
Tab. 9:	Bodenmengen an Feinerde und Quarz	60
Tab. 10:	Prozentuale Aufteilung der Quarz-Mengen auf Fraktionen	65
Tab. 11:	Gegenüberstellung von aktuellen Bodenmengen an Tonmineralen und Quarz und der auf der Basis von Quarz berechneten Einträge an Tonmineralen	77
Tab. 12:	Gegenüberstellung der vorhandenen CaCO_3 -Mengen mit möglichen Ca-Quellen	81
Tab. 13:	Staubeinträge im Verhältnis zum Gesamtboden	82
Tab. 14:	Fe- und Ti-Gehalte von Ton und Feinerde	83
4.3 Karbonatgesteins-Böden Süd-Portugals		
Tab. 15:	Bodenmengen an Feinerde und Quarz	90
Tab. 16:	Prozentuale Aufteilung der Quarz-Mengen auf Fraktionen	90
Tab. 17:	Steigung und Korrelationskoeffizienten der Regressionen zwischen Quarz und Element-Gesamtgehalten	91
Tab. 18:	Relative Röntgenbeugungs-Intensitätshöhen der Hauptlinien für Albit (3,19 Å) und für Mikroklin (3,24 Å) in den mittleren Fraktionen (30-200 µm, Rato 2-63 µm) und in Fraktionen anstehender Gesteine	94
Tab. 19:	Vorkommen ferromagnetischer Minerale in der Sand-Fraktion und berechnet auf Feinerde	98
Tab. 20:	Quarzverteilung nach Fraktionen und qualitative Abschätzung der Quarz-Herkunft	104
4.4 Karbonatgesteins-Böden Nordwest-Ägyptens		
Tab. 21:	Gehalte der Komponenten Flugsand, Löß und Dolomitrückstand und Mischungsrechnung für den Yermi-Luvi Chromic Cambisol NWÄ-24	108
4.5 Ein Serpentin-Boden der Süd-Türkei		
Tab. 22:	Prozentuale Aufteilung der Quarz-Mengen auf Fraktionen	114
4.6 Basaltische Böden Nordost-Israels		
Tab. 23:	Prozentuale Aufteilung der Quarz-Mengen auf Fraktionen	124
Tab. 24:	In den Böden vorhandene Mineralmengen und nach Quarz berechnete äolische Begleitmineralmengen	125
Tab. 25:	Feinerdemengen, Quarzmengen und eingetragene Staubmengen, sowie ihre Anteile an den Feinerdemengen	127
4.7 Quantitäten, zeitliche und räumliche Variabilität äolischer Umlagerungen		
Tab. 26:	Bodenmengen, geschätzte Fremd Beimengungen nach Transportart, äolische Austräge und Anteile der Fremd beimengungen von der Feinerde aller untersuchten Böden	128
Tab. 27:	Zeiträume der Bodenbildung der untersuchten Böden	132
Tab. 28:	Bodenbildungsalter, Fernstaubeinträge und jährliche Eintragsraten	134
6 Auswirkungen äolischer Umlagerungen auf ökol. Standortseigenschaften		
Tab. 29:	Totwasseranteil, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität der Feinerde unterschiedlich äolisch beeinflusster Horizonte der Böden Ägyptens	156
Tab. 30:	Veränderungen der Textur und der Wasserkapazitäten durch Staubeinträge in jungen Böden Lanzarotes	156