

DRUCKVERTEILUNG BEI AUFGEKANTETEN SKI

MARTIN MÖSSNER

ZUSAMMENFASSUNG. Bei gegebener Normalkraft F_z , Vorlage/Rücklagemoment M_y und Kantmoment M_x berechnet das Programm 'druck' die Eindringtiefe des Ski in den Schnee und die Druckverteilung entlang der Lauffläche. Die Daten des Ski müssen vom Benutzer in Form einer Datei eingegeben werden. Als Schneemodell wurde ein lineares Kraftgesetz implementiert. Die Ergebnisse werden am Bildschirm dargestellt und als Postscriptdateien abgespeichert.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Lieferumfang, Systemanforderungen	2
2. Installation	2
2.1. Schnellinstallation	3
2.2. Professionelle Installation	3
2.3. Kompilierung des Programmes	4
2.4. Installation am PC	4
3. Bedienungsanleitung	5
3.1. Die Skibeschreibungsdatei	6
3.2. Aufrufbeispiel	11
4. Methode	12
Literatur	12

Version 1.3 vom 10. Nov. 1998 .

Schlagwörter. Ski, Schneemodell, Eindringtiefe, Druckverteilung, Elastizitätstheorie, Biege- und Torsionsbalken.

1. LIEFERUMFANG, SYSTEMANFORDERUNGEN

Das Programm '**druck**' wird als CD ausgeliefert. Auf dieser befindet sich neben der Installationsdatei auch eine bereits vorinstallierte Version des Programmes. Zum Lieferumfang gehören das Programm, die Dokumentation und der Quellcode.

Das Programm läuft auf einer SGI Octane, einer HP 735, auf einem Linux PC und unter Windows NT.

Zur Übersetzung des Quellcodes benötigt man einen Fortran 90/95 Kompiler der Firma NAG und einen dazu passenden C Kompiler. Für einige Maschinen sind bereits kompilierte Versionen verfügbar. Zur Benützung des Programmes ist eine installierte Version von Matlab 5 der Firma MathWorks notwendig.

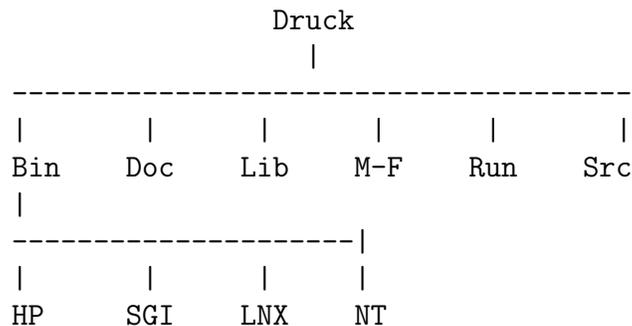
Der Quellcode ist in Fortran 90/95, ANSI C und Matlab geschrieben. Er ist daher auch auf andere Plattformen portierbar und mit anderen Compilern übersetzbar.

Das Programm wurde mit großer Sorgfalt entwickelt. Dennoch können Fehler in der Software aufgrund der Komplexität des Verfahrens nicht ausgeschlossen werden. Der Käufer erwirbt daher die Software, so wie sie ist.

Der Quellcode ist nur zum Zwecke der Portierung und Kompilierung beigelegt. Eine kommerzielle Verwertung bedarf des Einverständnisses des Entwicklers.

2. INSTALLATION

Auf der CD befindet sich neben der vorinstallierten Version des Programmes das tar-Archiv `druck12.tar`. Es wird mit dem Befehl `tar -xvf druck12.tar` entpackt. Dadurch werden die Verzeichnisse



erzeugt. Im Verzeichnis `Doc` befindet sich die Dokumentation in SGML, Latex, HTML und Postscript. Die HTML-Seiten können bei Bedarf ins Dokumentations-system von Matlab eingebunden werden. In `Lib` befinden sich die Quellen für eine Bibliothek, welche zur Kompilierung des eigentlichen Programms im Verzeichnis `Src` notwendig ist. In `M-F` befinden sich die m-Files. `Run` kann als Arbeitsverzeichnis verwendet werden. Es ist dazu aber auch jedes andere Verzeichnis des Benützers geeignet. In den Unterverzeichnissen von `Bin` sind kompilierte Versionen des Programms.

2.1. Schnellinstallation.

Man kopiere die für die Zielmaschine geeignete Binärdatei in ein Verzeichnis, welches im Pfad des Benützers liegt, und die m-Files in ein Verzeichnis, welches im Matlab-Pfad liegt. Nach Einstieg in die Matlab-Software kann das Programm `druck` benutzt werden.

2.2. Professionelle Installation.

Wir geben die Vorgangsweise für die SGI Octane mit der `csh`-Shell als Standard-Shell an. Will man das Programm auf einer anderen Maschine installieren, so ist bei systemabhängigen Dateien die Endung `sgi` durch den zur entsprechenden Maschine gehörenden Wert zu ersetzen. Es ist auch zu beachten, dass bei Benützung einer anderen Shell Environment-Variable anders gesetzt werden.

Zur Kompilierung ist für die SGI das Shell-Skript `install.sgi` vorhanden. Die Kompilierung für andere Maschinen wird im nächsten Kapitel behandelt.

Als Nächstes müssen die Programme für den Benutzer zugänglich gemacht werden. Wurde das Programm im Verzeichnis `/usr/local/share` entpackt, so fügt man die Zeilen

```
setenv DRUCK /usr/local/share/Druck
setenv SYSTEM SGI
if ($?MATLABPATH) then
    setenv MATLABPATH $DRUCK/M-F:$MATLABPATH
else
    setenv MATLABPATH $DRUCK/M-F
endif
setenv PATH $DRUCK/Bin/$(SYSTEM):$PATH
```

zur benutzereigenen oder zu einer systemweiten `.login`-Datei hinzu.

Durch das Setzen der Environment-Variable `MATLABPATH` wird der Suchpfad von Matlab erweitert was auch durch Editieren der Datei `toolbox/local/pathdef.m` des Matlab-Verzeichnisses erreicht werden kann.

Zur Einbindung der HTML-Dokumentation in das Matlab-eigene Dokumentationssystem ist die Datei `help/helpdesk.html` geeignet zu erweitern. Alternativ dazu kann man den Web-Browser direkt aufrufen. Man schreibt dazu einen m-File mit dem Namen `druckdoc.m` und dem Inhalt

```
function druckdoc ()
    en = getenv ('DRUCK');
    fn = ['file://',en,'/Doc/druck.html'];
    web (fn);
return
```

Weiters ist die Base-Adresse in der Datei `druck.html` im Verzeichnis `Doc` auf

```
<base href=file:///usr/local/share/Druck/Doc/>
```

abzuändern. Dieser Schritt kann leider nicht automatisiert werden, da man nicht weiß in welches Verzeichnis das Programm installiert wird.

2.3. Kompilierung des Programmes.

Man beginnt die Quellen in `Lib` zu übersetzen. Dazu wechselt man in das Verzeichnis `Lib` und gibt den Befehl `make -f MkSgi` ein. Dadurch werden die Quellen übersetzt und die Bibliothek `lib.a` im Verzeichnis `Src` gebildet. Sobald die Bibliothek erzeugt ist, kann man die Objektdateien (`*.o`), nicht aber die Modul-Definitionsdateien (`*.mod`) löschen.

Hinweis zur Portierung: In Fortran gibt es keine Möglichkeit, Prozesse abzusetzen (`system` oder `fork` in C). Deshalb musste in die Bibliothek `Lib` eine C-Routine eingebunden werden, welche von Fortran aus aufrufbar ist. Die dazugehörigen Dateien sind `cc.f90` und `cc.cc` wobei `cc.f90` eine Dummy-Routine ist, welche benötigt wird, um die Modul-Definitionsdatei zu erzeugen, und `cc.cc` die ANSI C-Quelle ist. Beim Kompilieren ist darauf zu achten, dass der Kompiler den Funktionsnamen nicht erweitert, wie dies bei C++ Kompilern der Fall ist.

Danach wechselt man in das Verzeichnis `Src`. Mit dem Befehl `make -f MkSgi` werden die restlichen Quellen übersetzt und zusammen mit der Bibliothek `lib.a` das Programm `druck.sgi` im Verzeichnis `Bin` erzeugt. Nun ist das Programm fertig übersetzt. Die Objektdateien (`*.o`), die Modul-Definitionsdateien (`*.mod`) und die Bibliothek (`lib.a`) werden nicht mehr benötigt und können gelöscht werden.

Abschließend sind noch die Pfade, wie im letzten Kapitel beschrieben, zu setzen.

2.4. Installation am PC.

Eine PC-Version des Programmes wurde mit dem Salford Fortran 90 Kompiler für Windows-NT übersetzt. Es gibt eine WIN32 und eine 16-Bit Version.

Zur Übersetzung muss man in den Dateien **MkNt** der Verzeichnisse **Lib** und **Src** die richtigen Pfade für den Compiler und Linker eintragen. Dann kann man mit der Batchdatei **install.bat** das Programm übersetzen.

Zur Benützung des Programmes muss Matlab mittels **startdr.bat** gestartet werden und in Matlab als Erstes der m-File **startdr.m** aufgerufen werden. Dannach funktioniert alles wie bei der UNIX-Version.

Die 16-Bit Version läßt unter DOS oder Windows 3.1. Sie benötigt den den DBOS Dos-Extender. Eine Version des DBOS Dos-Extenders ist dem Paket im Verzeichnis DBOS beigelegt. Der Inhalt dieses Verzeichnisses muss auf eine Diskette kopiert werden und sodann das Installationsprogramm ausgeführt werden.

3. BEDIENUNGSANLEITUNG

Die Aufrufsyntax des Programmes **druck** lautet

```
druck (ski, Fz, My, Mx, d);
```

ski ist der Name der Skibeschreibungsdatei, **Fz**, **My**, **Mx** geben die durch den Skifahrer aufgebrachten Kräfte und Momente und **d** ist ein Maß für die Schneehärte.

Die Zeichenkette **ski** gibt den Namen der Skibeschreibungsdatei an. Die Default-Erweiterung **' .dat '** wird, falls notwendig, automatisch angehängt. Diese Datei muss sich im aktuellen Arbeitsverzeichnis des Matlab-Programmes befinden oder durch einen vollständigen Pfad angegeben werden. Das Format dieser Datei wird im folgenden Unterkapitel beschrieben.

Fz, **My** und **Mx** geben die Belastung durch den Skifahrer an und werden als Punktlast im Bindungsmontagepunkt aufgebracht.

Es ist **Fz** die Normalkraft auf den Ski in [N]. Sie ist von der Größenordnung $F_z \approx -\frac{mv^2}{r} \sin \varphi - mg \cos \varphi$. Hierin sind m die Masse des Skifahrers samt Ausrüstung, v der Betrag der Geschwindigkeit, r der Schwungradradius, g die Schwerebeschleunigung und φ der Kantwinkel.

Das Vorlage/Rücklagemoment **My** ist das Moment um die Skibreitenachse und wird in [Nm] angegeben. Es ist positiv bei Vorlage und negativ bei Rücklage.

Das Kantmoment **Mx** ist dafür verantwortlich, dass der Ski aufgekantet wird. Es ist positiv oder negativ, je nachdem ob der Ski nach links oder rechts aufgekantet wird. Die Einheit für das Kantmoment ist [Nm].

Wir nehmen an, dass der Ski symmetrisch bezüglich der Breitenachse aufgebaut ist. Daher genügt es, die Berechnungen für positive Aufkantmomente durchzuführen.

Um die Ergebnisse bei der Darstellung besser skalieren zu können, lassen wir nur positive Werte von \mathbf{Mx} zu.

Die Snowhärte wird durch den Parameter d gesteuert. d gibt die Eindringtiefe eines starren Brettes mit einer Länge von 1.5 m und einer Breite von 0.07 m, wenn es mit einer Kraft von 1000 N senkrecht auf die Snowoberfläche gedrückt wird. Der Wert von d wird in [m] angegeben.

d ist ein optionaler Parameter. Als Default-Wert wird 0.001 m verwendet. Dies entspricht eher harten Verhältnissen.

Bei der Durchführung des Befehles `druck` werden mehrere Dateien mit der Bezeichnung `tmp*` erzeugt. Diese Dateien enthalten Zwischenergebnisse, welche die Eigenschaften und die Durchbiegung des Ski betreffen. Diese temporären Dateien werden zur Darstellung der Druckverteilung verwendet. Bei jedem Aufruf von `druck` werden diese Dateien überschrieben.

Da die Berechnung der Druckverteilung rechenintensiv ist, wurde ein m-File geschrieben, welcher das jeweils letzte Berechnungsergebnis darstellt. Es wird durch den Befehl `edgbed`; aufgerufen.

Die Online-Dokumentation wird mit dem Befehl `druckdoc`; aufgerufen.

3.1. Die Skibeschreibungsdatei.

Die Skibeschreibungsdatei beschreibt den Aufbau von Skiern. Diese Datei wird von uns auch für andere Berechnungen verwendet, sodass sie auch Daten enthält, welche zwar für das vorliegende Programm redundant sind, aber dennoch mit sinnvollen Werten belegt werden müssen.

Nachfolgend geben wir den Aufbau der Skibeschreibungsdatei an. Sinnvollerweise wird man für einen neuen Ski dieses Beispiel kopieren und modifizieren.

Die Datei beginnt mit einem Header von 12 Zeilen.

```
!
! Ski: Head Cyber Race 23/190
!
! Messung:    M. Moessner
! Datum:     1998-10-01
!
! Folgende Daten wurden an einem Head Cyber Race ohne montierter
! Bindung und ohne Bindungsplatte aufgenommen.
!
!
!
!
```

Der Header wird vom Programm überlesen. Der Benutzer kann dort Informationen zur Messung der Daten ablegen.

Es folgt ein Block mit den Kenndaten des verwendeten Ski.

```

2      !           data flag
1.870 ! L         projected length
1.690 ! L_c       contact length, L_f + l_b
0.790 ! L_mp      position of mounting point
0.790 ! L_p       midpoint between mounted bindings
0.950 ! L_f       contact length of afterbody
0.740 ! L_b       contact length of forebody
22.4  !           ski radius r_s
1.76  !           ski mass m
0.945 !           center of mass position x_s
0.0022 ! 0.00124 m inertia moment I_xx
0.453 ! 0.257 m   inertia moment I_yy
0.468 ! 0.266 m   inertia moment I_zz
0.0   !           inertia moment I_xy
0.0   !           inertia moment I_xz
0.0   !           inertia moment I_yz

```

Das Flag `flag` gibt an, ob der Ski als geschichteter Balken modelliert wird (`flag=1`) oder ob alle Größen durch Messdaten gegeben sind (`flag=2`). Die vorliegende Version des Programmes ist für die Situation `flag=2` vorgesehen.

Bei den nachfolgenden Bezeichnungen beziehen wir uns auf die Begriffsdefinitionen durch ISO 6289 bzw. ÖNORM S 4020. Es ist L die projizierte Skilänge, L_c die Kontaktlänge, L_{mp} die Position des Bindungsmontagepunktes und L_p die Position des Mittelpunktes zwischen beiden montierten Bindungsteilen. Oft wird die Bindung so montiert, dass $L_{mp} = L_p$ gilt. Die Kontaktlänge teilt sich in einen Teil vor dem Mittelpunkt der beiden Bindungsbacken und einen Teil dahinter auf. Die entsprechenden Längen sind L_f und L_b . r_s ist der Krümmungsradius des Seitenformausschnittes, welcher oft auch als Skiradius bezeichnet wird. m ist die Masse des Ski, x_s die longitudinale Position des Schwerpunktes und $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, I_{xy}, I_{xz}, I_{yz}$ die Komponenten des Trägheitstensors.

Im nächsten Abschnitt wird der Skiaufbau beschrieben. Wir behandeln diesen Block nicht näher, da diese Daten bei `flag=2` zwar eingelesen, aber zur Berechnung der Druckverteilung nicht verwendet werden. Dennoch ist es aus programmtechnischen Gründen notwendig, sinnvolle Werte anzugeben.

Will man mit variablem Skiaufbau experimentieren, so kann man `flag=1` setzen und die nachfolgenden Konstanten variieren.

```

!
! constants for sophisticated usage
!
7      ! spline degree

```

```

0.004 ! wb, ski upper part 2*wb smaller than edges
0.0017 ! dt, thickness of top surface
0.36 ! dt1, fraction of 1st layer in dt
0.36 ! dt2, fraction of 2nd layer in dt
0.28 ! dt3, fraction of 3ed layer in dt
0.0 ! dt4, fraction of 4th layer in dt
0.0 ! dt5, fraction of 5th layer in dt
0.40 ! h1, fraction of upper component
0.000 ! di, thickness of steel-insert
1.000 ! fi, forward end of steel-insert
-1.000 ! bi, backward end of steel-insert
1.000 ! si, length of slope of steel-insert
0.00 ! h3, fraction of middle component
0.003 ! db, thickness of binding-insert
0.600 ! fb, forward end of binding-insert
0.000 ! bb, backward end of binding-insert
0.400 ! sb, slope of binding-insert
0.60 ! h5, fraction of lower component
0.00195 ! db, thickness of running surface
0.0 ! db1, fraction of 1st layer in db
0.0 ! db2, fraction of 2nd layer in db
0.185 ! db3, fraction of 3ed layer in db
0.215 ! db4, fraction of 4th layer in db
0.6 ! db5, fraction of 5th layer in db
0.002 ! sw, width of side wall
0.00195 ! eh1, edge height 1
0.0022 ! ew1, edge width 1
0.00 ! eh2, edge height 2
0.00 ! ew2, edge width 2
!
! materials
!
71 31 83 1 1 ! upper part, from top to bottom
78 1 1 81 78 ! kernel, from top to bottom
1 1 83 31 75 ! lower part, from top to bottom
81 5 ! side wall, edge

```

Als letzter Datenblock folgt die Beschreibung der Skigeometrie und die Angabe der Materialeigenschaften. Er beginnt mit einem 15 Zeilen langen Kommentarteil. Es folgen die Anzahl der Messpunkte n , 3 Kommentarzeilen, die Standardabweichungen des Messfehlers von w , c , d , ρ , EI und GJ , eine weitere Kommentarzeile und für jeden Messpunkt eine Zeile mit dem Messwert von s , w , c , d , ρ , EI und GJ . Hierin sind s der Abstand des Messpunktes vom hinteren Skiende in [m], w die Skibreite in [m], c die Bogenhöhe in [m], d die Skidicke in [m], ρ die Massens-Liniendichte in [kg/m], EI die Biegesteifigkeit in [Nm²] und GJ die Torsionssteifigkeit in [Nm²].

Die angegebenen Daten werden durch glättende Splines nach einem Verfahren von P. Dierckx dargestellt. Der Glättungsparameter der Spline-Approximation wird so

gewählt, dass die Standardabweichung des Approximationsfehlers kleiner gleich dem vom Benutzer vorgegebenen Messfehler ist.

```

!
! s  position coordinate, 0 at tail, L at tip
! w  ski width
! t  position of top surface, t = c + d
! d  ski thickness
! c  ski camber
!
! for flag = 2 additionally
!
! rho  line-density
! EI   bending stiffness
! GJ   torsional stiffness
!
!      s      w      c      d      rho      EI      GJ
!
!      108
!
! standard deviations of error in measurement of w, c, d, rho, EI, GJ
!
!          1.0e-4  1.0e-4  1.0e-4  1.0e-4  1.0e-2  1.0e-2
!
! 0.0000  0.0295  0.0070  0.0060  0.5014  27.83  34.81
! 0.0100  0.0354  0.0044  0.0061  0.5907  32.34  41.74
! 0.0200  0.0378  0.0027  0.0063  0.6594  36.80  47.71
! 0.0300  0.0414  0.0015  0.0065  0.7114  41.12  52.58
! 0.0400  0.0433  0.0001  0.0067  0.7505  45.27  56.61
! 0.0500  0.0447  0.0000  0.0069  0.7789  49.20  59.93
! 0.0600  0.0450  0.0000  0.0071  0.7989  52.86  62.64
! 0.0800  0.0447  0.0000  0.0072  0.8209  59.38  66.51
! 0.1000  0.0439  0.0000  0.0073  0.8282  64.90  68.92
! 0.1200  0.0432  0.0000  0.0074  0.8281  69.74  70.53
! 0.1400  0.0425  0.0000  0.0077  0.8253  74.33  71.84
! 0.1600  0.0420  0.0005  0.0080  0.8225  79.13  73.16
! 0.1800  0.0413  0.0011  0.0083  0.8211  84.57  74.72
! 0.2000  0.0406  0.0017  0.0086  0.8217  90.97  76.64
! 0.2200  0.0401  0.0024  0.0089  0.8243  98.56  78.97
! 0.2400  0.0394  0.0030  0.0092  0.8291  107.49  81.73
! 0.2600  0.0389  0.0035  0.0095  0.8357  117.80  84.91
! 0.2800  0.0384  0.0039  0.0099  0.8439  129.49  88.47
! 0.3000  0.0379  0.0046  0.0103  0.8534  142.50  92.37
! 0.3200  0.0374  0.0050  0.0107  0.8637  156.75  96.55
! 0.3400  0.0370  0.0055  0.0112  0.8745  172.10  100.92
! 0.3600  0.0365  0.0060  0.0117  0.8854  188.39  105.40
! 0.3800  0.0360  0.0065  0.0121  0.8964  205.43  109.95
! 0.4000  0.0356  0.0067  0.0125  0.9078  223.04  114.94
! 0.4200  0.0352  0.0070  0.0129  0.9197  240.99  121.11
! 0.4400  0.0348  0.0071  0.0133  0.9323  259.08  129.07

```

0.4600	0.0344	0.0073	0.0137	0.9456	277.10	138.79
0.4800	0.0341	0.0077	0.0140	0.9593	294.86	150.07
0.5000	0.0338	0.0079	0.0144	0.9731	312.22	162.77
0.5200	0.0334	0.0080	0.0148	0.9868	329.02	176.74
0.5400	0.0331	0.0082	0.0152	1.0000	345.17	191.80
0.5600	0.0328	0.0083	0.0155	1.0127	360.58	207.70
0.5800	0.0325	0.0085	0.0158	1.0247	375.18	224.16
0.6000	0.0323	0.0086	0.0161	1.0361	388.93	240.83
0.6200	0.0321	0.0086	0.0164	1.0467	401.78	257.41
0.6400	0.0319	0.0087	0.0167	1.0565	413.69	273.58
0.6600	0.0316	0.0088	0.0169	1.0655	424.64	289.04
0.6800	0.0314	0.0089	0.0171	1.0735	434.61	303.46
0.7000	0.0312	0.0091	0.0172	1.0804	443.57	316.51
0.7200	0.0312	0.0093	0.0173	1.0861	451.53	327.85
0.7300	0.0311	0.0094	0.0174	1.0884	455.13	332.78
0.7400	0.0310	0.0095	0.0174	1.0904	458.47	337.18
0.7600	0.0309	0.0097	0.0175	1.0934	464.41	344.23
0.7800	0.0308	0.0099	0.0176	1.0951	469.36	348.64
0.8000	0.0307	0.0099	0.0177	1.0960	473.33	350.54
0.8200	0.0307	0.0099	0.0177	1.0962	476.34	351.68
0.8400	0.0307	0.0099	0.0177	1.0962	478.39	352.53
0.8500	0.0307	0.0098	0.0177	1.0963	479.06	352.80
0.8600	0.0307	0.0099	0.0177	1.0963	479.49	352.98
0.8800	0.0306	0.0100	0.0177	1.0964	479.65	353.06
0.9000	0.0307	0.0101	0.0177	1.0966	478.86	352.81
0.9200	0.0307	0.0103	0.0177	1.0967	477.10	352.19
0.9400	0.0307	0.0102	0.0176	1.0967	474.36	351.15
0.9600	0.0307	0.0095	0.0176	1.0965	470.62	349.68
0.9800	0.0308	0.0097	0.0175	1.0962	465.86	347.77
1.0000	0.0309	0.0095	0.0174	1.0956	460.07	345.39
1.0200	0.0311	0.0094	0.0173	1.0948	453.21	342.55
1.0400	0.0312	0.0093	0.0172	1.0937	445.29	339.20
1.0600	0.0314	0.0092	0.0171	1.0923	436.30	335.34
1.0800	0.0316	0.0090	0.0169	1.0905	426.23	330.93
1.1000	0.0316	0.0089	0.0167	1.0884	415.12	325.95
1.1200	0.0319	0.0087	0.0165	1.0858	402.99	320.39
1.1400	0.0322	0.0084	0.0162	1.0828	389.87	314.24
1.1600	0.0324	0.0083	0.0159	1.0793	375.84	307.52
1.1800	0.0326	0.0081	0.0156	1.0752	360.95	300.24
1.2000	0.0330	0.0080	0.0152	1.0706	345.31	292.44
1.2200	0.0333	0.0078	0.0147	1.0655	329.01	284.13
1.2400	0.0336	0.0077	0.0143	1.0598	312.16	275.35
1.2600	0.0340	0.0075	0.0139	1.0536	294.89	266.09
1.2800	0.0343	0.0074	0.0135	1.0469	277.34	256.40
1.3000	0.0347	0.0072	0.0131	1.0398	259.65	246.33
1.3200	0.0350	0.0070	0.0128	1.0322	241.94	236.02
1.3400	0.0355	0.0069	0.0124	1.0243	224.38	225.62
1.3600	0.0359	0.0067	0.0120	1.0161	207.09	215.19
1.3800	0.0363	0.0066	0.0116	1.0076	190.21	204.61
1.4000	0.0367	0.0064	0.0112	0.9985	173.87	193.65

1.4200	0.0373	0.0063	0.0107	0.9881	158.18	182.13
1.4400	0.0377	0.0060	0.0102	0.9762	143.24	170.07
1.4600	0.0384	0.0057	0.0098	0.9626	129.16	157.71
1.4800	0.0387	0.0053	0.0094	0.9479	116.00	145.42
1.5000	0.0394	0.0047	0.0090	0.9323	103.84	133.54
1.5200	0.0401	0.0041	0.0086	0.9164	92.73	122.31
1.5400	0.0407	0.0037	0.0082	0.9004	82.71	111.89
1.5600	0.0411	0.0034	0.0078	0.8846	73.80	102.34
1.5800	0.0418	0.0031	0.0074	0.8693	66.02	93.72
1.6000	0.0427	0.0027	0.0071	0.8548	59.34	86.05
1.6200	0.0432	0.0022	0.0069	0.8417	53.73	79.36
1.6400	0.0437	0.0018	0.0067	0.8303	49.11	73.62
1.6600	0.0444	0.0013	0.0065	0.8207	45.39	68.81
1.6800	0.0452	0.0007	0.0063	0.8129	42.46	64.83
1.7000	0.0460	0.0003	0.0061	0.8066	40.20	61.61
1.7100	0.0464	0.0001	0.0061	0.8037	39.29	60.25
1.7200	0.0467	0.0000	0.0061	0.8010	38.50	59.04
1.7300	0.0469	0.0000	0.0061	0.7982	37.84	57.96
1.7400	0.0471	0.0000	0.0061	0.7951	37.27	57.01
1.7500	0.0470	0.0000	0.0061	0.7916	36.80	56.16
1.7600	0.0468	0.0010	0.0060	0.7871	36.40	55.39
1.7700	0.0465	0.0020	0.0060	0.7813	36.05	54.65
1.7800	0.0461	0.0030	0.0060	0.7734	35.73	53.90
1.7900	0.0453	0.0050	0.0060	0.7627	35.40	53.05
1.8000	0.0446	0.0070	0.0060	0.7479	35.00	52.00
1.8100	0.0430	0.0110	0.0060	0.7272	34.45	50.57
1.8200	0.0407	0.0170	0.0060	0.6980	33.66	48.54
1.8300	0.0389	0.0240	0.0060	0.6562	32.47	45.63
1.8400	0.0369	0.0360	0.0060	0.5942	30.62	41.29
1.8500	0.0286	0.0430	0.0060	0.4921	27.48	34.13
1.8600	0.0165	0.0500	0.0060	0.3035	20.20	20.77
1.8700	0.0000	0.0590	0.0060	0.0360	-8.49	19.78

Nach der Beschreibung der Skigeometrie können noch weitere Einträge folgen. Diese werden von uns, z.B. zur Berechnung der Biegesteifigkeit und der Torsionssteifigkeit verwendet. Hier folgen auch Daten, welche eine Bindungsplatte oder die Skibindung betreffen.

3.2. Aufrufbeispiel.

Man öffnet das Matlab-Programm und gibt z.B. den Befehl

```
druck ('ski', -1200, 20, 15, 0.01)
```

ein. Damit wird die Druckverteilung für den Ski, welcher in der Datei `ski.dat` beschrieben ist, mit einer Normalbelastung von $F_z = -1200$ N, einem Vorlagemoment von $M_y = 20$ Nm und einem Kantmoment $M_y = 15$ Nm berechnet. In dieser Situation

ist der Ski mit 26 Grad aufgekantet. Die Schneehärteparameter d von 0.01 m entspricht weichem Schnee. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Abb. 1 bis 4 dargestellt. Abb. 1 zeigt die 3-D Ansicht der Eindringtiefe des Ski und Abb. 2 stellt die Eindringtiefe als Konturplot dar. In Abb. 3 ist die 3-D Druckverteilung und in Abb. 4 ein Niveaulinienplot der Druckverteilung wiedergegeben.

Ein weiteres Beispiel ist mit

```
druck ('ski', -2000, 20, 55)
```

gegeben. In diesem Beispiel wird der Defaultwert $d = 0.001$ für den Schneehärteparameter d verwendet. Der Ski ist bereits mit 58 Grad aufgekantet. Dementsprechend klein ist auch die Kontaktfläche des Ski mit der Schneeoberfläche. Abb. 5 bis 8 geben die Eindringtiefe und die Druckverteilung an.

4. METHODE

Der Ski wird als Biege- und Torsionsbalken modelliert. Als Dichteverteilung, Biege- und Torsionssteifigkeit werden vom Benutzer vorgegebene Werte verwendet. Die Reaktionskraft durch den Schnee wird durch eine einseitige lineare Federkraft modelliert. Die Druckverteilung unter dem Ski ergibt sich sodann durch Lösung des freien Randwertproblems, wobei sich die Belastung des Ski aus Bodenreaktions- und Gewichtskraft sowie der Belastung durch den Skifahrer ergibt.

Die Theorie zu diesem Programm ist ausführlich in der Dissertation von M. Mössner beschrieben. Eine weitere Beschreibung des Verfahrens ist in der Arbeit von Kaps, Mössner und Nachbauer gegeben. Ein grundlegendes Werk zur Elastizitätstheorie von Balken ist das Buch von Schnell, Gross und Hauger.

LITERATUR

- [1] ISO 6289, *Skis – Terms and definitions*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1985.
- [2] OENORM S 4020, *Ski und Skilauf; Begriffsbestimmungen*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, Österreich, 1990.
- [3] ISO 6003, *Alpine skis – Determination of mass and polar moment of inertia – Laboratory measurement method*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1984.
- [4] OENORM ISO 6003, *Alpinski – Bestimmung der Masse und des Trägheitsmoments – Labor-messverfahren*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, Österreich, 1994.
- [5] ISO 8364, *Alpine skis and bindings – binding mounting area – requirements and test methods*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1991.
- [6] OENORM S 4030, *Ski und Bindungen für den alpinen Skilauf, Bindungsbefestigungsbereich, Begriffsbestimmungen, Anforderungen, Prüfung*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, Österreich, 1990.

- [7] ISO 1539-1 (Fortran 95), *Information technology – programming languages – Fortran*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1997.
- [8] ISO 1539 (Fortran 90), *Information technology – programming languages – Fortran*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1991.
- [9] ISO 14882, *Information technology – programming languages, their environments and system software interfaces – programming language C++*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1998.
- [10] ISO 8879, *Information processing – text and office systems – standard generalized markup language (SGML)*, International Organization for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 1986.
- [11] M. Mössner, *Dissertation*, Universität Innsbruck (1999).
- [12] P. Kaps, M. Mössner und W. Nachbauer, *Druckverteilung bei aufgekanteten Ski*, Forschungsbericht des Institutes für Mathematik und Geometrie, Universität Innsbruck (in Vorbereitung).
- [13] W. Schnell, D. Gross und W. Hauger, *Technische Mechanik 2. Elastostatik*, Springer, Berlin, 1995.
- [14] P. Dierckx, *Curve and surface fitting with splines*, Oxford University Press, Oxford, 1993.
- [15] M. Metcalf und J.K. Reid, *Fortran 90/95 explained*, Oxford University Press, Oxford, 1996.
- [16] B. Stroustrup, *The C++ programming language. Third edition*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1997.
- [17] Numerical Algorithms Group (NAG), NAG Ltd., Oxford, UK.
email: sales@nag.co.uk www: <http://www.nag.co.uk/>.
- [18] The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA.
email: info@mathworks.com www: <http://www.mathworks.com/>.

Privatadresse:

Martin Mössner, Galgenbühelweg 5, A-6020 Innsbruck

Studienadresse:

Institut für Sportwissenschaften, Universität Innsbruck

Email: Martin.Moessner@uibk.ac.at**WWW:** <http://sport1.uibk.ac.at/mm/>

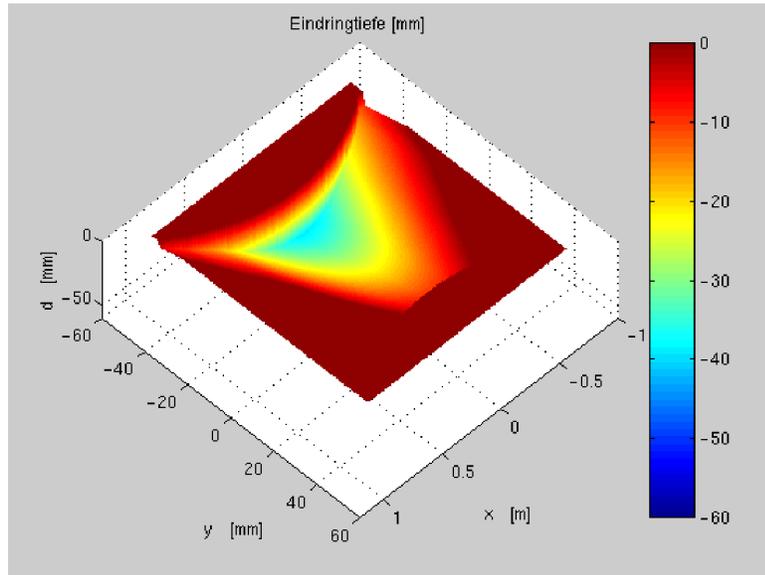


ABBILDUNG 1. Eindringtiefe des Ski (3-D Ansicht).

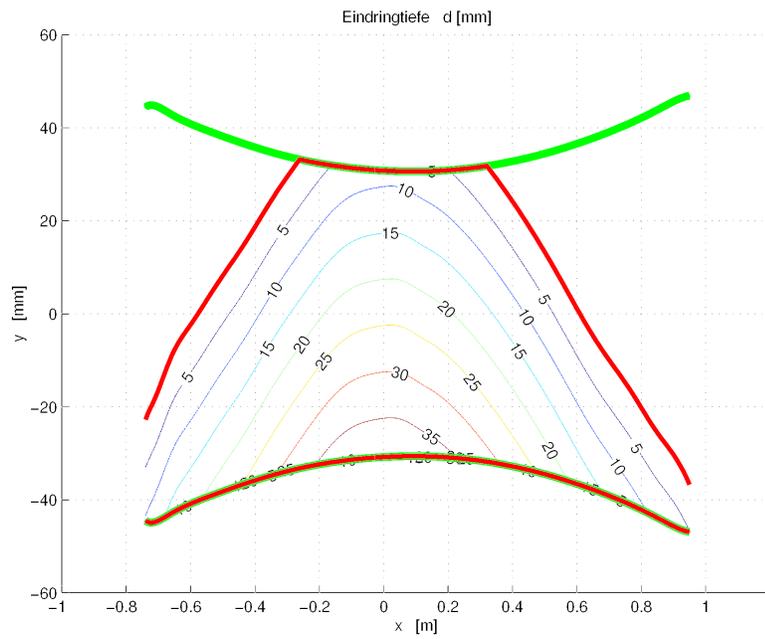


ABBILDUNG 2. Eindringtiefe des Ski (Niveaulinien).

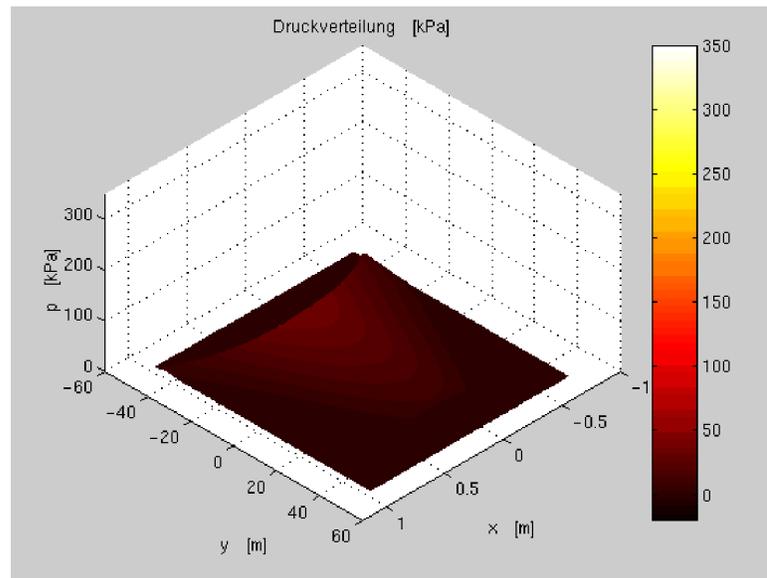


ABBILDUNG 3. Druckverteilung unter dem Ski (3-D Ansicht).

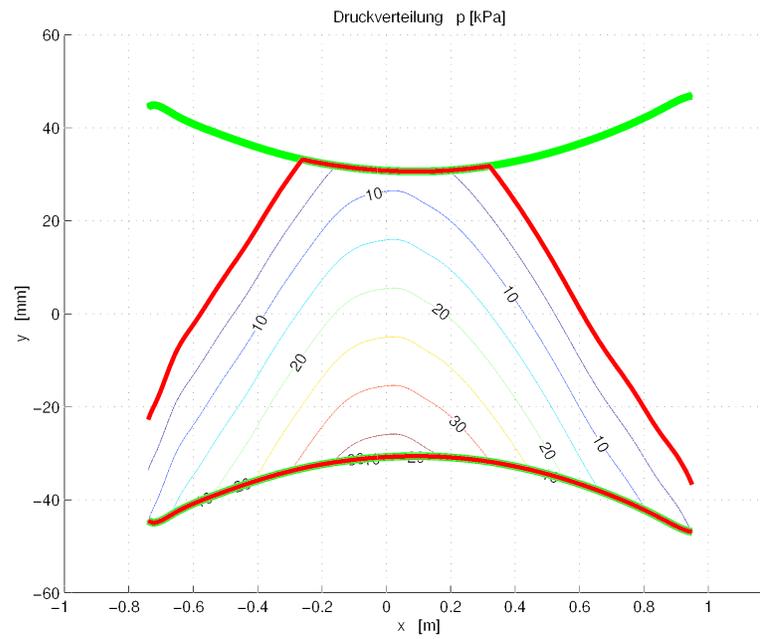


ABBILDUNG 4. Druckverteilung unter dem Ski (Niveaulinien).

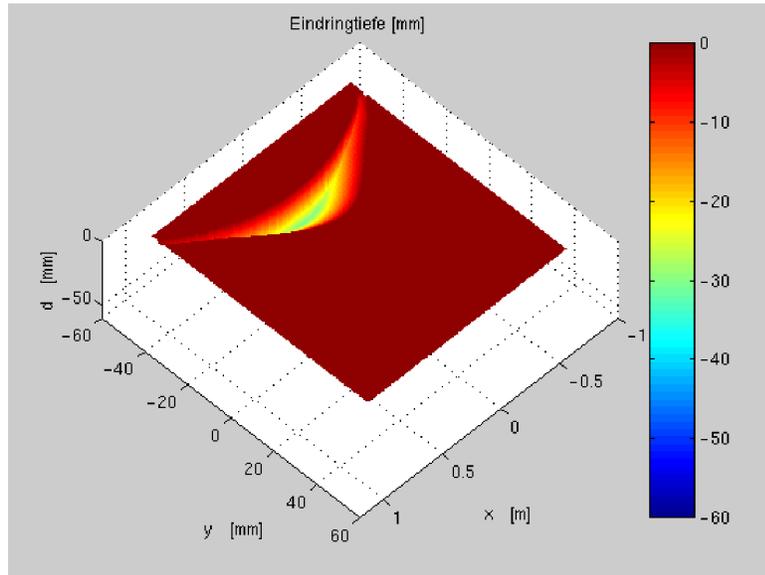


ABBILDUNG 5. Eindringtiefe des Ski (3-D Ansicht).

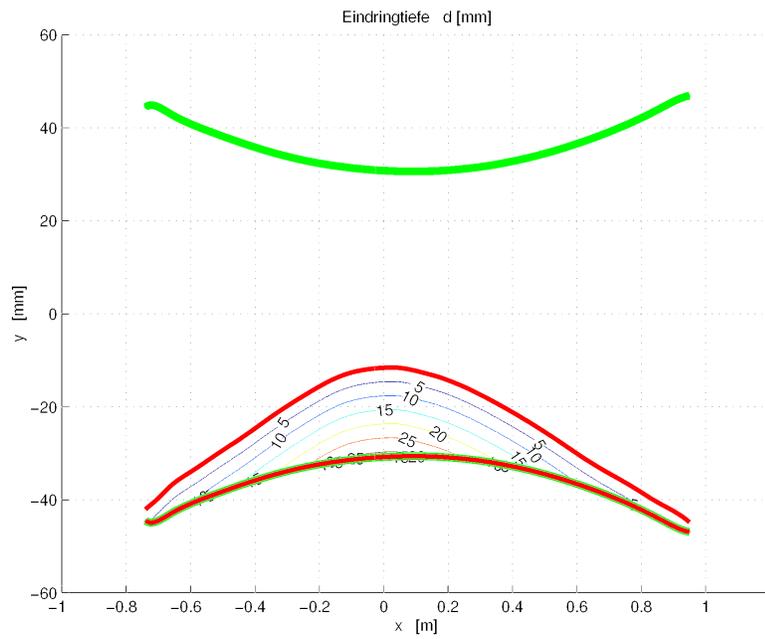


ABBILDUNG 6. Eindringtiefe des Ski (Niveaulinien).

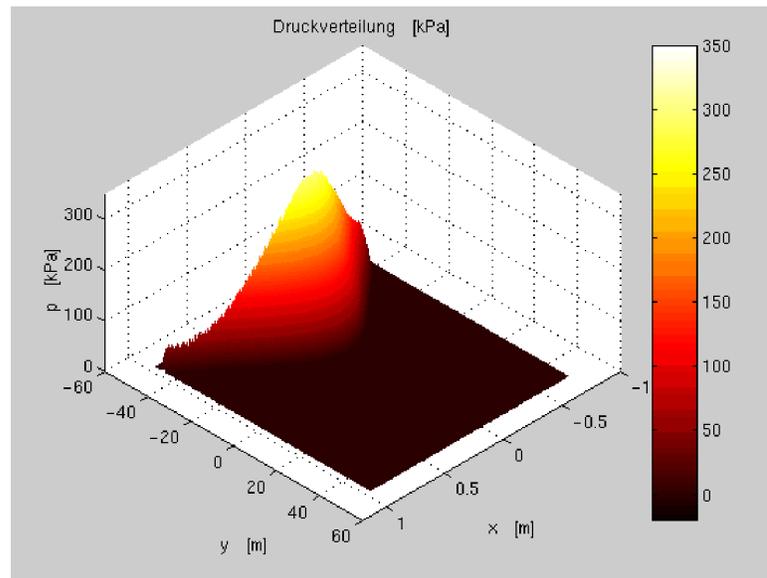


ABBILDUNG 7. Druckverteilung unter dem Ski (3-D Ansicht).

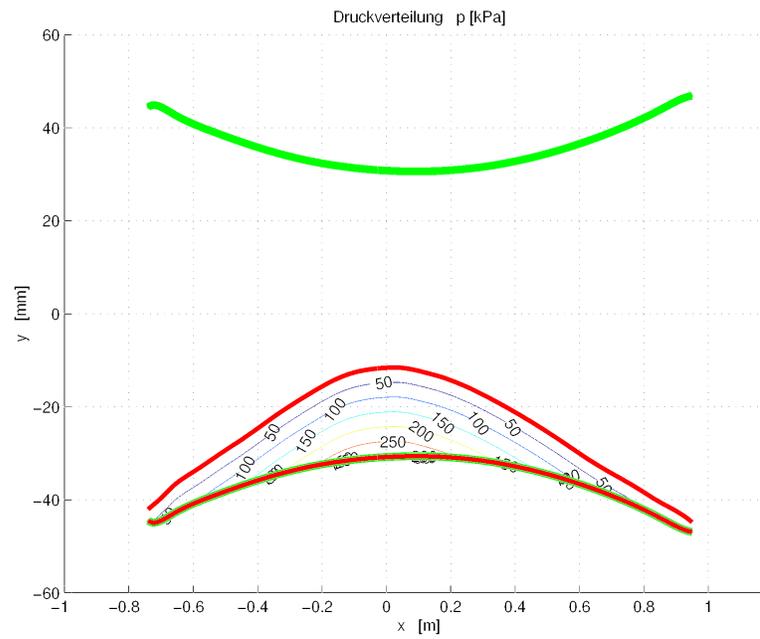


ABBILDUNG 8. Druckverteilung unter dem Ski (Niveaulinien).