

DIPLOMARBEIT

FALTRAD F4

AUSGEFÜHRT ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES EINES DIPLOM-INGENIEURS

unter der leitung von

**UNIV.ASS.DIPL.ING.DR.TECHN. MICHAEL SEIDEL
E253/5 - INSTITUT FÜR HOCHBAU UND ENTWERFEN
ABTEILUNG FÜR HOCHBAU, KONSTRUKTION, INSTALLATION UND ENTWERFEN**

eingereicht an der technischen universität wien
FAKULTÄT FÜR ARCHITEKTUR UND RAUMPLANUNG

von
**MANFRED HOFBAUER
SCHÖNBRUNNERSTRASSE 125/9
1050 WIEN**

wien, 20.5.2008

vorwort

fahrräder faszinierten mich von anfang an.
 in meiner jugendzeit baute ich ein reitrad, ein reittandem sowie ein langliegerad.
 nach der schule ging ich als zeichner in die maschinenbauindustrie;
 die gestalterisch wenig herausfordernde tätigkeit vermochte mich nicht zu befriedigen.
 beim darauffolgenden architekturstudium tat sich eine neue welt der gestaltung auf: statik, funktion, form und nutzen verdichten sich – im besten fall – zu einem gestalterischen ganzen.



1981 reittandem

01

in diesem sinne ließ mich auch das fahrrad nicht los.
 1993 entwarf und baute ich anlässlich der entwurfsaufgabe „mobiles möbel“ am institut für hochbau 2 den fahrstuhl, der im zuge der vorliegenden arbeit auch kurz vorgestellt wird.
 die nunmerige arbeit stellt einen weiteren zwischenschritt meiner „fahrradforschung“ dar. überblicksartig werden die historischen und aktuellen fahrradgeometrien verglichen und auf ihre stadttauglichkeit geprüft. im anschluss wird ein exemplarischer prototyp eines „faltbaren stadtrades“ entwickelt, geprüft und gestaltet.
 meine zielsetzung war, komfort und entspannte haltung mit kurzen kraftwegen zu verbinden.
 fahrradtechnologie ist überschaubar: statik, dynamik, materialkunde verdichten sich zu einem fahrbaren ganzen, das einen wesentlichen beitrag zur mobilität der menschen leistet.
 im gegensatz zu anderen, mit fremder energie betriebenen konstruktionen ist das rad den prinzipien des leichtbaus verpflichtet. abweichungen gehen zu lasten des betreibers. ähnlich einem guten möbel muss das rad dem benutzer angemessen sein.



1993 fahrstuhl

02

meines erachtens sollen verkehrsmittel nicht nur dem nutzer, sondern auch der umwelt angepasst sein.
 stadträume sind vom raumgreifenden auto dominiert, das im gegensatz zum fahrrad ausschließlich den isolierten, geschützten insassen bevorzugt, zu lasten der umgebenden aussenwelt.
 –gehen sie anlässlich einer demonstration oder einer festveranstaltung mitten auf dem wiener ring spazieren; sie werden den stadtraum und das „stadtgefühl“ gänzlich anders als mit dem gewohnten verkehrsgeschehen erleben.
 –versuchen sie, sich die kärntnerstrasse als durchzugsstrasse richtung praterstern vorzustellen.
 das erleben der meisten stadträume ist primär geprägt vom motorisierten individualverkehr. der andere verkehr, das *„ungeziefer der straße“* (*adorno Minima Moralia 1951*) wird durch gefahr, lärm, schmutz und schadstoffe an den rand gedrängt.

das fahrrad stellt hier eine städtische alternative dar, die ich mit der vorliegenden arbeit stärken möchte.

| | | |
|--------------------|----------------------------------|----|
| vorwort | | 4 |
| inhaltsverzeichnis | | 5 |
| 1 | einleitung | |
| 1.1 | aufgabenstellung | 6 |
| 1.2 | kurzfassung | 6 |
| 2 | grundlagen | |
| 2.1 | begriffsklärung | 7 |
| 2.2 | geschichte | 9 |
| 2.3 | regeln UCI | 13 |
| 3 | analyse | |
| 3.1 | verkehr | 16 |
| 3.2 | geometrie | |
| 3.2.1 | ergometrie, körperhaltung | 19 |
| 3.2.2 | luftwiderstand | 23 |
| 3.2.3 | geometrie und fahrverhalten | 27 |
| 3.2.4 | antrieb | 29 |
| 3.2.4 | fallen | 35 |
| 3.2.5 | design | 39 |
| 3.3 | materialien | |
| 3.3.1 | leichtbau | 41 |
| 3.3.2 | werkstoffe | 43 |
| 4 | projekt | |
| 4.1 | entwurfsthesen und ziele | 49 |
| 4.2 | fahrstuhl | 50 |
| 4.3 | vorstudien | 51 |
| 4.4 | entwurf | 59 |
| 5 | verzeichnisse | |
| 5.1 | literatur und quellenverzeichnis | 68 |
| 5.2 | abbildungsverzeichnis | 69 |
| 5.3 | chronologischer bilderindex | 73 |

1. einleitung

1.1 aufgabenstellung

auf der suche nach einem innovativen stadtrad wird man oft mit einem aufgerüsteten mountainbike bedient. dies erfüllt den zweck des schnellen und wendigen vorwärtskommens in der stadt gut, aus sicht der bequemlichkeit, eines optimierten antriebes und der ergonomie wären andere ansätze besser dienlich:

- durch die gebückte haltung mit vorgerecktem kopf werden wirbel säulen- und nackenprobleme eher verstärkt.
- da der fuss nicht mit pedalhaken an das pedal gebunden ist, kann die körperkraft nicht optimal eingesetzt werden
- die mitnahme in öffentlichen verkehrsmittel ist auf U-bahn und schnellbahn beschränkt.

meine zielvorstellung war ein kleines fahrrad, auf das man sich setzt und mit dem man kurze wege (bis 15 km) möglichst entspannt zurücklegen kann.

es sollte einfach zu klappen sein um problemlos in öffentlichen verkehrsmitteln mitgenommen werden zu können. die prämissen sollen auf bequemlichkeit und geringem gewicht liegen.

1.2 kurzfassung

die vorliegende arbeit beschäftigt sich mit dem fahrrad als städtisches verkehrsmittel.

nach einem kurzen historischen überblick über fahrradtypen und ihre entwicklung wird kurz auf entwicklungshemmende parameter und ihre folgen eingegangen.

dann werden die den radfahrer umgebenden parameter des verkehrs und ihre folgen analysiert.

bestehende fahrradkonstruktionen werden hinsichtlich körperhaltung, geometrie, antriebsform, faltvorgang und gestaltung betrachtet.

im weiteren wird auf die im fahrradbau üblichen materialien und konstruktionen eingegangen.

das von mir auf basis der recherche konzipierte faltrad versucht über die positionsverstellung dem fahrer die wahlmöglichkeit zwischen -aufrechte haltung, guter überblick, hoher luftwiderstand und -liegender haltung, geringer luftwiderstand, schlechterer überblick zu geben.

weitere ist in der gefalteten position einfaches tragen bzw. verstauen gewährleistet.

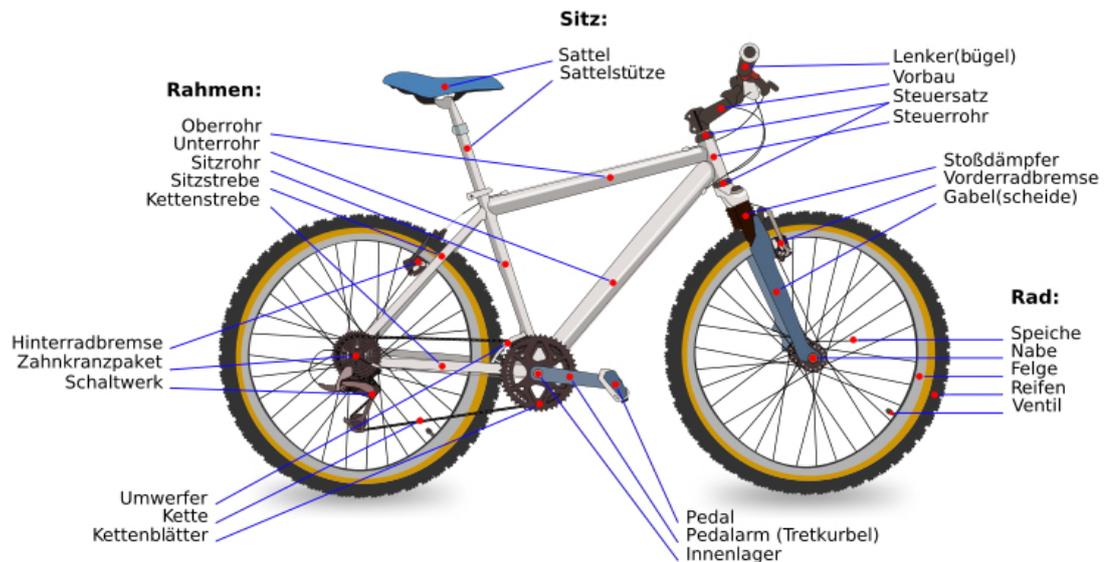
die konzeption wird anhand einer fahrbaren vorstudie überprüft, die ergebnisse fließen in den im schlussteil dieser arbeit vorgestellten entwurf ein.

2. grundlagen

2.1 begriffsklärung

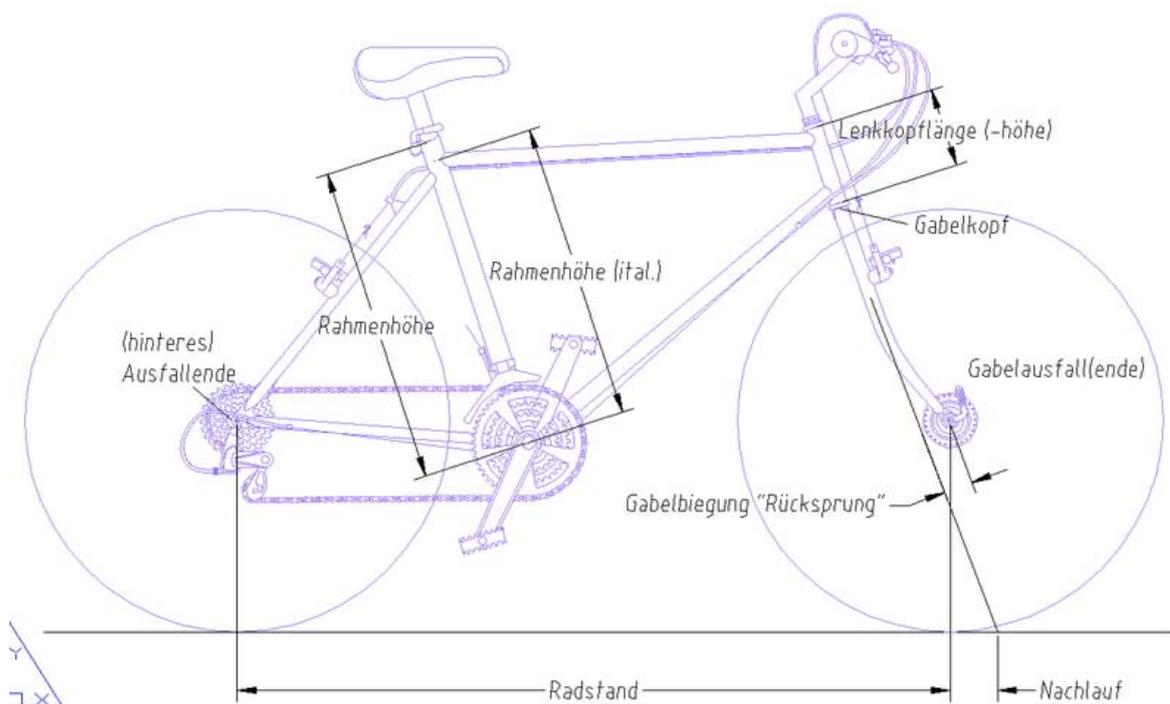
um die nachfolgende arbeit besser verstehen zu können, sind hier einige fahrradspezifische begriffe anhand von skizzen und erklärungen dargestellt:

nachstehend eine „klassische“ diamantrahmengeometrie mit den zugehörigen begriffen, die großteils auch für andere geometrien verwendet werden.



http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Bicycle_diagram-de.svg

[20.5.2008]



<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Masze-am-fahrrad.png>

[20.5.2008]

entfaltung:

unter der entfaltung oder ablaufänge versteht man die länge der strecke, die ein fahrrad durch eine umdrehung der tretkurbeln zu-rückgelegt.

liegeräder

im gegensatz zu den gängigen fahrradtypen (rennrad, tourenrad, mountain bike, klapprad, tandem) nimmt das liegerad durch seine andere sitzposition und die andere pedalposition eine sonderstellung ein.

in der gruppe der liegeräder unterscheidet man:

bauchlieger, rückenlieger, sesselrad, langlieger, kurzlieger , tieflieger

bauchlieger:



2007_bauchlieger

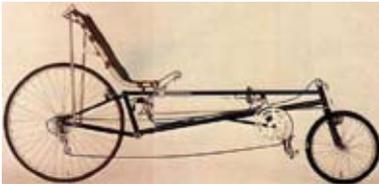
03

verlockende rahmenform aus sicht des konstruktors: hände direkt an der vorderradachse, füße am hinterrad; keine langen kraftflüsse durch den rahmen bzw. durch endlose ketten notwendig.

bei diesen modellen liegt der radfahrer am bauch, kopf meist nach vorne. das sicherheitsgefühl leidet unter der exponiertheit des kopfes. manchmal auch mit pedalen auch für die hände ausgestattet.

einsatz vorwiegend für rekordversuche; im alltag hat sich die position nicht durchgesetzt, vielleicht aufgrund der belastung des brustkorbes mit dem körperrgewicht und damit verbundener einschränkung der lungenfunktion.

rückenlieger:



1988 peer gynt

04

langlieger:

der fahrer sitzt in entspannter haltung auf dem fahrrad, tritt nach vorne. sehr langer radstand sorgt für ruhigen lauf bei eingeschränkter wendigkeit. tiefer schwerpunkt möglich, eignung eher als tourenrad. lenker oben (chopper) oder unten möglich.



2007 kurzlieger

05

kurzlieger:

haltung wie beim langlieger, vorderrad rutscht zwischen sitz und tretlager, höherer schwerpunkt als beim langlieger. kurzer radstand für wendiges fahrverhalten, langsamfahren und anfahren am berg oft schwierig.

tieflieger:

als kurz- oder langlieger möglich.

sehr tiefer schwerpunkt, schlechte übersicht im verkehr. aerodynamische geometrie, die kette läuft meist neben dem vorderrad vorbei (eingeschränkter kurveneinschlag)



2007 tieflieger

06

sesselrad:

liegeräder, bei denen das tretlager tiefer als die sitzfläche liegt (z.b peer gynt, abb.4)

2.2 geschichte

im folgenden kurzen überblick über die entwicklung des fahrrades liegt der schwerpunkt auf –aus heutiger sicht– sonderformen des fahrrades. diese radtypen hielten sich aus verschiedenen gründen nicht durchgehend am markt und weisen daher, im gegensatz zum „klassischen“ fahrrad keine kontinuierliche entwicklung auf.

der fahrradrahmen und die körperhaltung am rad waren in den jahren 1830 bis 1930 keineswegs festgelegt. die ersten räder orientierten sich an der position des reiters am pferd: man saß in aufrechter haltung auf einem sattel.

nachdem man begonnen hatte, den vortrieb durch mitlaufen, wie dies beim fahrrad von drais üblich war, durch mechanische übersetzungen zu bewerkstelligen (veloziped), kamen unterschiedlichste mechanische antriebe in verwendung.

der einfachste war das befestigen von kurbeln am antriebsrad, wodurch für eine geeignete entfaltung große raddurchmesser von vorteil waren. diese räder wurden u.a. boneshaker genannt, was rückschlüsse auf die damaligen straßenverhältnisse und die durchschlagende härte der holz- oder stahlbereifung zulässt. hergestellt wurden die fahrräder in einzelfertigung von wagnern, die auf viel erfahrung aus dem kutschenbau zurückgreifen konnten.

in weiterer folge kam es zur entwicklung der hochräder, wobei dem raddurchmesser durch die menschliche beinlänge eine grenze gesetzt war.

mit einem 54" laufrad erreichte man eine entfaltung von ca. 4,3 m, was bei einer trittfrequenz von 90 U/min eine geschwindigkeit von 23 km/h ermöglichte.

ein heute übliches 26" laufrad ergibt bei gleichem direkten antrieb und gleicher frequenz eine geschwindigkeit von 11 km/h. hochräder waren beim bremsen aufgrund des unmittelbar über dem vorderrad liegenden schwerpunktes überschlaggefährdet.

im weitesten sinne ist das schwinghebelrad von 1869 als ein frühes liegerad zu betrachten. in dieser zeit tüftelte man in vielerlei richtungen und verwarf die meisten ideen direkt nach ihrer entstehung wieder. nachfolgemodelle dieses types sind nur wenige bekannt. der villacher schlosser josef erlach entwickelte und produzierte um 1880 ein sesselradartiges gefährt mit hebelantrieb.

die logik des hochrades (möglichst großer radumfang am antriebsrad) wurde mit der erfingung des kettentriebes 1883 durch die briten stanley und sutton entkräftet, und das „safety“ begann sich durchzusetzen.

aufgrund der einfachen erlernbarkeit setzten sich primär räder mit aufrechter körperhaltung und untenliegendem tretlager durch. auch waren die ungleichmäßigen strassenverhältnisse durch das mögliche aufstehen aus dem sattel leichter zu ertragen als mit anderen rahmengenometrien.

mit der erfingung des kettentriebes waren fix eingestellte übersetzungen möglich. bald wurden auch schaltungen entwickelt, die sich in tretlagerschaltung, nabenschaltung und kettenschaltung unterteilten. 1878 wurde eine zweigangschaltung auf der basis des epizyklischen getriebes entwickelt, das wiederum grundlage für viele tretlagerschaltungen und später auch nabenschaltungen wurde. 1896 wurde die erste brauchbare zweigangnabe patentiert. 1895 wurde die erste kettenschaltung vorgestellt. 1910 war die erste parallelgrammschaltung (derailleur) am markt.



1866 velociped

07



1888 rennhochrad

08



1869 schwinghebelrad

09



1880 erlach niederrad

10



1885 BSA niederrad

11



1898 cygnet

12

die fahrräder waren in den jahren von 1820 bis 1890 eine elitäre angelegenheit. das rad wurde als „hobby horse“ betrachtet, es war kein alltagsgerät. das änderte sich mit den anfängen der serienfertigung von niederrädern sowie der verbreitung der fahrräder als fortbewegungsmittel in den arbeiterschichten. ab 1900 setzte eine massenmobilisierung der arbeiter durch die fahrräder ein.



1898 elliot hickory

13

das fahrrad und die dadurch erfolgte erweiterung der mobilität wurden zu einem wichtigen katalysator für die emanzipation der frau. „das bicycle hat zur emanzipation der frauen aus den höheren gesellschaftsschichten mehr beigetragen als alle bestrebungen der frauenbewegung zusammen“ rosa mayreder zur kritik der weiblichkeit leipzig-jena 1905, 155

adolfo loos plädiert für das recht der radfahrerin auf einfache kleidung und hosen, denn „das bicycle und die dampfmaschine sind ornamentfrei. die fortschrittliche cultur scheidet object für object vom ornamentirtwerden aus“ adolfo loos „damenmode! du grässliches capitel culturgeschichte“



1893 fliegende blätter

14

ab 1890 kamen auch liegeräder aufgrund des größeren komforts und des geringeren luftwiderstandes auf den markt. das liegerad entstand auch aus dem streben, ein möglichst schnelles fahrzeug zu bauen, das mit menschenkraft angetrieben wird.

die erste bekannte abbildung eines liegerades findet sich in der zeitschrift „fliegende blätter“ aus dem jahre 1893. zu sehen ist ein fahrer, der zigarre rauchend zwischen vorder- und hinterrad in einer art schale sitzt. der antrieb erfolgt durch eine tretkurbel direkt am vorderrad, eine lenkung ist nicht zu erkennen. im hintergrund sind zwei andere (normale) räder zu sehen, deren fahrer bedeutend angestrengtere mienen haben als der „pilot“ des liegers. schon hier wird ein vorteil des liegerades angedeutet: es ist bequemer und leichter zu fahren.



1896 challand rad

15

schon kurz nach dem ersten erscheinen eines liegerades im genfer radsalon 1896 hat die fachwelt die vorteile dieser radkonstruktion erkannt. schon damals erkannte man den zusammenhang zwischen den entdeckungen der aerodynamik und der entwicklung der antriebsmechanismen.



1897 darling bauchliegerad

16

1897 trat ein „mr. darling“ mit einem bauchliegerad ins rampenlicht. es basierte auf einem herkömmlichen niederradrahmen. ebenso wie das „darling-rad“ basierte das „brown recumbent“ (recumbent engl. bezeichnung für liegerad) auf einem modifizierten niederradrahmen. auf dem „geknickten“ oberrohr war der sitz befestigt. der lenker hatte eine eigentümliche form, wurde jedoch auf traditionelle weise durch einen vorbau im steuerrohr gehalten. fahrer oder fahrerin saßen hier verhältnismäßig aufrecht, der blick auf verkehr und natur war entspannt und der schwerpunkt des rades lag in einer gewohnten höhe und lage. das „brown recumbent“ wurde 1901 auch aus den usa exportiert.



1914 peugeot

17

das erste europäische serienmodell eines liegerades wurde 1914 von der französischen fahrradfirma peugeot gebaut. in seiner rahmenform und konstruktion ähnelte es stark dem „brown recumbent“ von 1900.

in den zwanziger jahren setzte sich der deutsche zeppelinkonstrukteur paul jaray mit dem thema fahrrad auseinander und konstruierte das damals beliebte j-rad oder jaray-rad. ohne sportliche zielsetzung verkaufte sich das „jaray“-liegerad aus den hesperus werken in stuttgart in den zwanziger jahren sehr erfolgreich. es wurde auch in den niederlanden und in der schweiz vertrieben. hervorzuheben ist hier der ungewohnte schwinghebelantrieb des rades. paul jaray empfand die rahmenkonstruktion zeitgemäß dem normalradrahmen nach. der fahrer saß auf einem gepolsterten sitz über dem hinterrad. der unkonventionelle schwinghebelantrieb hatte eine art „dreigangschaltung“: drei paar fußrasten, die in verschiedenen abständen zum gelenk des schwinghebels angebracht waren, konnten je nach geschwindigkeit gewählt werden. zusätzlich war eine torpedo-mehrgangnabe im hinterrad eingebaut. es kam zu mehreren tödlichen unfällen durch materialfehler, daher wurde 1923 die produktion eingestellt.



1920 jaray rad

18

bis 1934 wurden unterschiedliche liegeräder entwickelt, am bekanntesten der velo-velocar von charles und georges mochet. die entwicklung brach jedoch ein, nachdem vom UCI die liegeradrahmen als nicht wettkampftauglich ausgeschieden wurden. mochet arbeitete weiter am mehrspurigen velocar, von denen noch heute einige in verwendung sind.



1934 mochet

19

erste kurzlieger wurden 1935 in england auf den markt gebracht. die piloten auf dem rad waren sehr schnell bei bahnwettkämpfen und konnten die britischen berge sehr gut erklimmen, was nicht zuletzt auf die „hightech-ausstattung“ der räder mit viergangschaltung zurückzuführen war. die sitze der modelle waren eine kombination aus herkömmlichem sattel und einer schlichten rückenlehne.



1935 cycloratio

20

bei den klassischen fahrrädern wurde in den dreißiger jahren viel am design (stromlinienform) gearbeitet. die rahmengeometrie war über die entscheidung des UCI festgesetzt und wurde nicht mehr hinterfragt.

aufgrund der zunehmenden motorisierung amerikas in der zeit zwischen den weltkriegen und der starken autolobby waren die fahrräder nicht mehr als fortbewegungsmittel gefordert. der schwerpunkt der entwicklung lag bei der schönheit und gestaltung der fahrräder und waren wichtiger als die funktionalität und leichtgängigkeit.



1936 robinshaft

21

in der nachkriegszeit gab es in den USA eine entwicklung namens spacelander von ben bowden. der erste prototyp besaß einen kardantrieb und ein energiespeichersystem, mit dem bremsenergie für das bergauffahren genutzt werden sollte. die spacelander waren aus fiberglas gefertigt und in sehr auffälligen farben lackiert, konnten sich am markt aber nicht durchsetzen.



1956 spacelander

22

in der DDR arbeitete paul rinkovsky an der entwicklung von alltagstauglichen liegerädern. diese kurzlieger besaßen scheibenräder zur verringerung des luftwiderstandes, aerodynamische schuhschalen und vollfederung, obwohl er keine standardbauteile aus der westlichen fahrradindustrie zur verfügung hatte. rinkovsky arbeitete bis zu seinem tod im jahr 1983 an liegerädern, ohne dem wissen, daß zur gleichen zeit außerhalb der DDR ebenfalls forschungen zum thema liegerad betrieben wurden. nach der wende galt rinkowski als erfinder des types "kurzlieger".



1962 rinkovsky

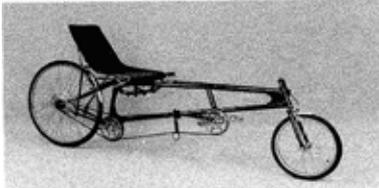
23



~1970 minirad 24

im zuge der massenmotorisierung und der degradierung des fahrrades zum „arme leute fahrzeug“ fand die industrie erst mit dem „mini rad“ wieder interesse am alltagsrad. dieses autotaugliche fahrzeug verdiente zum teil den namen fahrrad nicht.

zu schwer, der weiche rahmen energievernichtend sowie schlechte rahmengenometrien führten zu einem weiteren tiefschlag für die fahrradkultur.



1976 avatar 25

neue ansätze für den liegeradbau ergaben sich aus der beginnenden grünbewegung der 70er jahre, als erste human powered vehicle wettbewerbe ausgetragen und damit auf antrieb wesentlich bessere leistungen als mit seit einem jahrhundert entwickelten rennrädern erbracht wurden. die an dieser entwicklung beteiligten leute hatten jedoch kein wissen über historische liegeradmodelle.

liegeräder wurden nun auch für den markt entwickelt, ihr verwendungsgebiet lag vorwiegend im bereich der reise- und tourenräder. für die benutzung im innerstädtischen raum waren die rahmen oft zu lang und auch zu sperrig.



1998 funtom 26

in den USA entwickelte sich ab 1972 das mountain bike, das auf der klassischen geometrie immer mehr zu vollgefederten, maschinenartigen fahrrädern führte; das mountainbike in seiner leichtgewichtigen ausführung wurde auch für den stadtdschungel entdeckt. treppenanlagen und schwere pflasterungen stellten nun kein hindernis mehr dar, sondern waren willkommenes erprobungs- und bewährungsgebiet der für das fahren in den bergen entwickelten räder.



2002 flevatoracer 27

im bereich der liegeräder wurden auch vorderradgetriebene konstruktionen entwickelt:

das flevobike mit einer knicklenkung und dem tretlager an der vordergabel eröffnet dem fahrer die möglichkeit, nur mit den beinen steuernd mit dem rad zu fahren. die hände waren nur noch zum schalten und bremsen erforderlich.



2008 moulton 28

hochqualitative falträder wurden entwickelt, die dem mobilitätsanspruch von pendlern entsprachen; auch infolge der oftmals nicht vorhandenen abstellmöglichkeiten wurden falträder zum hochtragen in die wohnung gekauft. diese falträder werden auch im bereich camping und yachting vertrieben.

auch das arme leute image ist geschwunden. je nach bedarf, distanz und verfügbarkeit wird mit dem fahrrad, den öffentlichen verkehrsmitteln oder dem pkw verkehrt.



2008 velokraft 29

durch die zunehmende spezialisierung vom alltagsrad zum spezialrad besitzen viele menschen mehr als ein fahrrad.

hochpreisige prestigeobjekte im rennrاد-, mountainbike- und designradbereich bringen zum teil frischen wind in den fahrradsektor.



2006 markham 30

nach wie vor werden liegeräder nur selten im allgemeinen fahrradfachhandel angeboten.

der vertrieb erfolgt über spezialisierte liegeradfachgeschäfte und immer häufiger über das internet.

2006 markierte freddy markham mit einem vollverkleideten liegerad den neuen stundenweltrekord mit 56 meilen beziehungsweise 90,1 kilometer in einer stunde.

2.3 regelwerk UCI

der radsport ist nach den bestimmungen des UCI (union cycliste international) strengen regeln unterworfen. diese dienen dazu, gleiche bedingungen für alle fahrer herzustellen; es soll der mensch über das material gestellt werden.

so sinnvoll diese regeln für den wettstreit zwischen den sportlern sind, hemmen sie doch die entwicklung grundlegender verbesserungen am fahrrad.

alle ausserhalb der regeln stehenden neuerungen, mögen sie aerodynamik, antriebsart, geometrische grundkonfiguration etc. betreffen, sind nicht wettkampftauglich und somit für die entwickelnde industrie uninteressant.

seit den späten 70er jahren hat sich über die IHPVA (International Human Powered Vehicle Association) ein weiteres wettkämpfe austragendes konsortium gebildet.

diese rennen sind bei weitem nicht so werbewirksam wie z. b. die tour de france; entsprechend weniger gelder werden in die entwicklung neuer typen gesteckt.

seit den dreißiger jahren ist es für liegeräder unmöglich, an offiziellen wettrennen des UCI (union cycliste international) teilzunehmen. durch den ausschluss von liegerädern an wettkämpfen verschwand das interesse der industrie und sponoren an diesem fahrradtyp. die forschung und entwicklung auf diesem sektor fand über ein halbes jahrhundert auf der ebene von studierten, stümpfern, träumern, technikern, euphorikern und entdeckern statt.

gunnar fehlau das liegerad

der grund liegt in der entscheidung des UCI, welche die klassische (diamant-) rahmenform für alle an wettkämpfen beteiligten räder festlegte. dies geschah trotz oder wegen der erfolge, die georges mochet mit dem von ihm hergestellten velocar bei strassenrennen und bahnrennen erzielte.

am 07.07.1933 fuhr francais faure in einer stunde 45,056 kilometer, das war damals neuer und triumphaler weltrekord. es sollten noch etwa 5 jahre vergehen, bis ein rennfahrer mit einem „normalen“ rennrad in der lage war, einen durchschnitt von 45 km/h zu fahren.

gunnar fehlau das liegerad

so wurden auch alle zwischen 1984 und 1996 erzielten weltrekorde im stundenfahren vom radsportweltverband UCI im jahr 2000 rückwirkend annulliert, da die dort benutzten aerodynamisch optimierten spezialräder und sitzpositionen nach dem neuen reglement verboten sind.

es gelten nur noch rekorde, die mit „herkömmlichen“ rädern gefahren werden, die der technischen ausstattung von eddy merckx von 1972 entsprechen und deren rahmenform dem klassischen diamantrahmen entspricht. diese rekorde müssen nun mit einem klassischen bügel-lenker gefahren werden, was für die fahrer, die aerolenker benutzen, eine enorme umstellung ist.

es ist eine tatsache, dass sich die UCI nach der explodierenden zahl der rekorde von mitte bis ende der 90er jahre veranlasst sah, der rekordjagd einhalt zu gebieten, auch um den ständigen technischen weiterentwicklungen entgegenzuwirken.

der radrennsport, früher triebfeder für verbesserungen und entwicklungen, kann daher heute als hemmschuh für die erforschung und entwicklung neuer oder alternativer fahrradgeometrien gesehen werden.



1933 rennen UCI

31



1972 rennrad eddie merckx

32

aktuelle bestimmungen des UCI

kapitel III. ausrüstung**sektion 2: fahrräder****vorwort**

die fahrräder müssen dem geiste und anspruch des fahrradsports entsprechen. der geist des fahrradsports fordert, dass die fahrer bei wettkämpfen gleichberechtigt antreten, zudem sollte der mensch den vorrang vor der maschine haben.

§ 1 grundsätze**definition**

1.3.006 das fahrrad ist ein fahrzeug, dessen räder einen gleich großen durchmesser haben; das vorderrad ist richtungsweisend, das hinterrad ist der „hinterantrieb“, das durch ein pedalsystem über eine kette bewegt wird.

typ

1.3.007 die fahrräder müssen so konstruiert sein, dass sie entweder im handel verkauft werden sollen, oder verkauft werden und von jedem radsportler benutzt werden könnten. ein speziell für einen rekord (beispiel) konzipiertes fahrrad ist nicht zulässig.

position

1.3.008 der fahrer muss eine sitzposition auf seinem rad einnehmen (grundposition). diese position erfordert, dass er sich einzig und allein auf die pedale, den sattel und die lenkstange stützt.

lenkung/steuerung

1.3.009 das fahrrad wird mit einer lenkstange ausgestattet, mit der es möglich ist, dieses bei jeder gelegenheit und mit absoluter sicherheit zu steuern und zu manövrieren.

antrieb

1.3.010 der antrieb darf nur durch die beine (den unteren muskelapparat), ohne elektrische oder andere hilfe, in einer kreisförmigen bewegung durch den gebrauch der pedale entstehen. (änderung 1.1.05)

§ 2 technische angaben

außer bei gegensätzlichen bestimmungen gelten die technischen angaben für straßen-, bahn- und querfeldein-rennmaschinen. die bestimmungen über die fahrräder, welche beim mtb, bmx, trial hallenradsport und bei den fahrern mit einem handicap benutzt werden, werden in den jeweiligen kapiteln geregelt. (änderung 1.1.05)

1.3.011 a) maße (siehe schema „maße (1)“)

1.3.012 die gesamtlänge eines rennrads darf nicht größer als 185 cm und die gesamtbreite nicht größer als 50 cm sein. ein tandem darf nicht mehr als 270 cm lang und 50 cm breit sein.

1.3.013 die spitze des sattels muss mindestens 5 cm 1 hinter einer vertikalen linie liegen, die durch die tretlagerachse geht. der genannte abstand von 5 cm gilt nicht für das fahrrad eines fahrers, der an einem sprint-, keirin-, 500 m- und 1000m-rennen teilnimmt, wobei jedoch die sattelspitze nicht über die vertikale hinausgehen darf, die durch die tretlagerachse verläuft.

1.3.014 der sattel muss horizontal ausgerichtet sein. die länge des sattels muss mindestens 24 cm und darf höchstens 30 cm betragen. (textänderung, 01.01.03)

1.3.015 der abstand zwischen tretlagerachse und boden muss mindestens 24 cm und darf höchstens 30 cm betragen.

1.3.016 der abstand zwischen den vertikalen, die durch die tretlagerachse und die vorderradachse verlaufen, darf nicht geringer als 54 cm und nicht größer als 65 cm (1) sein. der abstand zwischen den vertikalen, die durch die tretlagerachse und die hinterradachse verlaufen, muss mindestens 35 cm und höchstens 50 cm betragen.

1.3.017 der abstand zwischen den inneren rändern der gabel darf nicht größer als 10,5 cm sein; der abstand zwischen den inneren rändern der hinteren gabel beträgt höchstens 13,5 cm.

1.3.018 der durchmesser der räder darf einschließlich laufräder maximal 70 cm und minimal 55 cm betragen. hinsichtlich der querfeldein-räder darf die reifenbreite 35 mm nicht überschreiten.

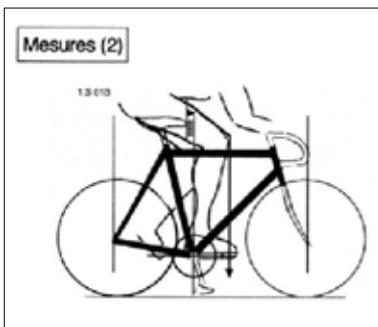
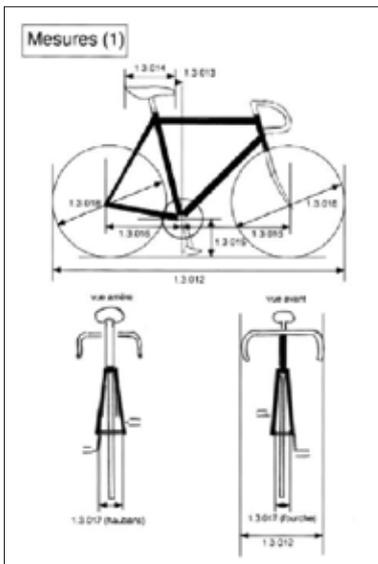
für straßenrennen mit massenstart sowie querfeldein-rennen sind nur laufräder zugelassen, die im vorfeld von der uci genehmigt worden sind. die laufräder müssen mindestens 12 speichen haben; die speichen können rund, abgeflacht oder oval sein solange keine seite der speiche 10 mm überschreitet. zur genehmigung dieser laufräder müssen diese zuvor in einem von der uci zugelassenen labor einem von der uci vorgeschriebenen bruch-test erfolgreich unterzogen worden sein. die testergebnisse müssen zeigen, dass die erhaltenen brüche übereinstimmen mit denen, die als verschleißerscheinung beim normalgebrauch des laufrades auftreten. nachfolgende kriterien müssen erfüllt werden:

- während des aufpralls, darf sich kein bestandteil des laufrades lösen und nach außen geschleudert werden.

- der bruch darf keine zerbrochenen oder abgebrochenen bestandteile oder scharfen oder gezackten oberflächen haben, die den benutzer, anderen fahrern und/oder dritten schaden zufügen könnten.

- die bruchcharakteristiken dürfen sich nicht so auswirken, dass die radnabe sich von der felge löst und das laufrad aus der gabel springt.

vorbehaltlich der von den gesetzgebungen, regularien oder bräuche vorgeschriebenen tests, sind standard (traditionelle) laufräder von den bruchtests freigestellt. es wird von einem traditionellen laufrad angenommen, dass es sich hierbei um ein laufrad mit zumindest 16 metallspeichen handelt. die speichen müssen rund, flach oder oval sein und das durchmessermaß darf 2,4 mm nicht über-



schreiten. die schnittfläche der felge darf 2,5 cm auf jeder seite nicht überschreiten. ungeachtet dieses artikels, obliegt die wahl und der gebrauch von laufrädern art. 1.3.001 bis 1.3.003. (änderung, 01.01.02, 01.01.03, 1.1.05)

b) gewicht

1.3.019 die rennmaschine darf nicht weniger als 6,8 kg wiegen.

c) form

1.3.020 für die wettkämpfe auf der strasse, anders als bei zeitfahrenrennen und querfeldeinrennen muss der rahmen der rennmaschine die klassische form haben, d.h. die „dreieckige“ form. er besteht aus geraden oder gestreckten röhren (rund, oval, eckig, tropfenförmig oder sonstige). die mitte eines jeden bestandteils muss jedoch eine gerade linie bilden. die bestandteile sind so angeordnet, dass die verankerungspunkte nach folgendem schema festgelegt sind: das oberrohr (1) verbindet die spitze des steuerkopfrohrs (2) mit dem sitzrohr (4); das sitzrohr (das sich durch die stange des sattels verlängert) trifft auf das tretlager; das unterrohr (3) trifft an der basis des steuerkopfrohrs (2) auf das tretlager. die hinteren dreiecke setzen sich zusammen durch die sitzstrebe (5), die kettenstrebe (6) und das sitzrohr (4).

die bestandteile haben eine maximale höhe von 8 cm und eine minimale dicke von 2,5 cm. die minimale dicke ist auf 1 cm für die sitzstrebe (5) und die kettenstrebe (6) reduziert worden. die minimale dicke der bestandteile der vorderradgabel beträgt 1 cm, diese sind gerade oder gekrümmt (7). (siehe schema form (1)) die neigung des oberrohres (1) ist innerhalb der schablone angegebenen maße genehmigt, vorausgesetzt, dass dieses element horizontal eine maximale höhe von 16 cm und minimalen dicke von 2,5 cm hat.

1.3.021 für einzelzeitfahren auf der straße oder mannschaftszeitfahren und bahnrennen können die bestandteile des rahmens der rennmaschine röhrenförmig oder kompakt, verbunden oder in einem einzigen stück ineinander übergehend sein und freie formen haben (bogenkonstruktion, gewölbt, balkenkonstruktion oder sonstige). diese bestandteile, einschließlich des tretlagers, müssen innen eine dreieckige form haben wie es in art. 1.3.020 definiert wird. (textänderung 07.06.2000)

c) struktur

1.3.022 in den anderen wettkämpfen, als in denen, die in art. 1.3.023 genannt werden, ist nur der klassische lenker zugelassen (siehe schema „lenker“). der höchste punkt, auf dem die hände aufgestützt werden, muss sich wie folgt in einem festgelegten bereich befinden: unterhalb der horizontalen linie, die durch die horizontale fläche der sattelstütze (b) verläuft; oberhalb der horizontalen, die durch den höchsten punkt der zwei räder verläuft (diese haben einen gleich großen durchmesser) (c); hinten durch die lenksäule (d), vorne durch eine vertikale, die durch die vorderradachse geht (a) mit einer toleranz von 5 cm (siehe schema „struktur“ (1a)). der abstand in punkt (a) gilt nicht für rennmaschinen von fahrern, die an rennen wie sprint, keirin oder olympischen sprint teilnehmen, ohne jedoch die 10 cm der vertikale durch das vorderrad zu überschreiten.

die bremsen, die auf dem ausleger fixiert sind, bestehen aus zwei stützen mit handbremshebeln. die handhebel müssen durch das ziehen am ausleger betätigt werden können. eine verlängerung oder ein anbringen von stützen und handhebeln, die für einen anderen gebrauch bestimmt sind, ist untersagt. die kupplung eines für gangschaltungen ist zugelassen.

1.3.023 für zeitfahren auf der straße und für nachfolgende bahnrennen: einzelverfolgung, mannschaftsverfolgung, kilometerfahren, 500m und weltrekord, kann ein zusätzlicher ausleger an das lenksystem angebracht werden. der abstand zwischen der vertikalen linie, die durch die tretlagerachse geht und dem lenker darf 75 cm nicht überschreiten; die anderen begrenzungen in art. 1.3.022 (b,c,d) bleiben unverändert. eine unterarm- oder ellbogenstütze ist zulässig. (siehe schema „struktur (1b)“)

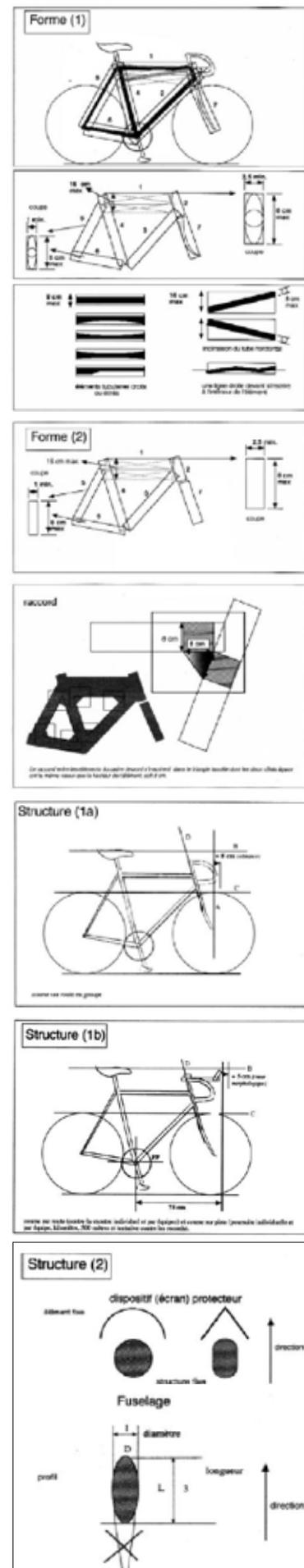
für zeitfahren auf der straße können die steuerungen oder hebel, die auf dem zusätzlichen ausleger angebracht sind, teilweise den abstand von 75 cm berschreiten, wenn sie nicht den gebrauch verflätschen, insbesondere durch eine verlängerung des griffes über 75 cm. für die bahn- und straßenrennen wie sie in §1 aufgeführt werden, kann der abstand von 75 auf 80cm erhöht werden, sofern dies aus morphologischen gründen erforderlich ist. man versteht unter morphologischen gründen all das, was mit der größe oder der länge der gliedmaße der fahrer zusammenhängt.

der fahrer, der aus diesen gründen der ansicht ist, ein fahrrad benutzen zu müssen, bei dem die betreffenden abstände zwischen 75-80 cm liegen, muss die jury der kommissäre bei vorlage der lizenz entsprechend darüber informieren. in diesem fall kann die jury folgenden test vornehmen: es muss geprüft werden, ob der winkel, der durch den arm und ellbogenstütze gebildet wird, nicht größer als 120° ist, wenn sich der fahrer in bewegung befindet. (textänderung 07.06.2000)

1.3.024 jede vorrichtung, die am radkörper befestigt oder angeschweißt ist, die zur verringerung des luftwiderstands oder zur künstlichen antriebsbeschleunigung bestimmt ist, wie z. b. schutzschirm, rumpff, verkleidung oder sonstiges, ist verboten. ein schutzschirm ist ein fester bestandteil, der als paravent oder schutzscheibe dazu dient, einen anderen festen bestandteil des fahrrades zu schützen, damit die aerodynamischen kräfte reduziert werden.

der rumpff beruht auf einer verlängerung oder stromlinienförmiger veränderung des profils. der rumpff wird in dem bereich toleriert, wo das verhältnis der länge l zum durchmesser d 3 nicht überschreitet. die verkleidung beruht darauf, einen bestandteil des fahrrades so zu benutzen oder zu verformen, dass sie einen beweglichen teil des fahrrades wie die reifen oder die pedale verkleidet. so muss es möglich sein, zwischen der festen struktur und dem beweglichen teil, eine harte karte von der art einer „kreditkarte“ durchzustechen.

1.3.025 der freilauf, die gangschaltung und die bremsen sind beim training und bei wettkämpfen



3. analyse

3.1 verkehr und raum

bewegung verbindet raum und zeit. die bewegung schenkt uns die vierte dimension, erst mit dem durchqueren eines raumes kann man ihn in seiner gestalt erfahren.

verkehr ist auf verkehrswegen realisierte bewegung von menschen, gütern oder informationen.

der verkehr ist ein teil der räumlichen mobilität.

im 19. jahrhundert setzte eine differenzierung der bis dahin vermischten verkehrsformen ein. analog zu architektur und raumplanung wurden verkehrswege voneinander isoliert, es entstanden hoch leistungsfähige verkehrskorridore, die jedoch auf einen sektor zugeschnitten und beschränkt wurden.

der verkehr wurde komfortabel.

„in der dichtung baudelaires wird geschwindigkeit als erfahrung hektischer bewegung geschildert, der mensch der stadt als wesen am rand der hysterie. tatsächlich nahm geschwindigkeit im 19. jahrhundert aufgrund technischer innovationen eine neue qualität an.

diese erfindungen machten es dem reisenden bequemer. komfort ist ein zustand, den wir mit ruhe und passivität assoziieren. die technologie des 19. jahrhunderts machte bewegung allmählich zu solch einer passiven körpererfahrung. je komfortabler man fortbewegt wurde, desto stärker zog man sich zurück, reiste allein und schweigend...

heute bewegen sich die menschen schnell. besonders bei der fahrt in die oder innerhalb der peripherie der stadt, deren fragmente nur mehr durch automobile miteinander verbunden sind. die logistik der geschwindigkeit löst jedoch den körper von den räumen, durch die er sich bewegt; strassenplaner versuchen schon aus sicherheitsgründen, die räume, durch die ein schnelles fahrzeug sich bewegt, zu neutralisieren und zu standardisieren. der akt des fahrens, der den sitzenden körper in eine feste position zwingt und nur noch minimale bewegungen erfordert, stellt den fahrer körperlich ruhig. harveys generation stellte sich bewegung noch stimulierend vor, im new york des robert moses erfahren wir sie als monoton.“

richard sennett, fleisch und stein

das automobil zählt zur privatsphäre. im auto gehört der innenraum dem insassen, mit dem autokauf werden raumgrenzen festgelegt inklusive der zugehörigen inneneinrichtung.

das auto isoliert und anonymisiert.

der innenraum ist verschieden dem aussenraum.

im gegensatz dazu ist der radfahrer angreifbar und ungeschützt im strassenraum. das erfordert auch verantwortung und kommunikation.

„und welchen chauffierenden hätten nicht schon die kräfte seines motors in versuchung geführt, das ungeziefer der strasse, passanten, kinder und radfahrer, zuschanden zu fahren?“ t.w. adorno, 1944, minima moralia

zunehmend steigt auch die isolierung der radfahrer und fussgänger im öffentlichen raum; mittels i-pod wird das akustische umfeld ausgeblendet und ein selbst gestalteter hörraum mitgetragen.

„werner bergengruen erzählte in den zwanziger jahren vom reichum der wahrnehmungen auf dem fahrrad: „es kränkt mich, daß man mich bemitleidet, weil ich kein auto habe, sondern nur ein fahrrad. in der tat wünsche ich mir kein auto... mir liegt ja nichts an der geschwindigkeit, aber alles an der intensität der reise. dazu gehört das erleben der kleinsten verschiedenheiten, der nuance – der autofahrer erfaßt nur die großen obergänge oder gar nur die krassen unterschiede, ich erlebe die einzelheit des übergangs von einer landschafts- und menschenart zur anderen.“ „wer sich in den fahrradsattel schwingt, ist oft überrascht, wie facettenreich, wie vielgesichtig die welt sich darbietet, die er durchradelt. man entdeckt abgelegene wege und unerwartete

ansichten, es wird der raum in seinem kleinteiligen reich zugänglich und wahrnehmbar. hinter dem steuer sieht man nichts und riecht man nichts; der windschutzscheibenblick tötet den raum zur durchgangsstrecke. für den radfahrer jedoch gewinnen die details der nähe an schärfe; nicht der blick auf die ferne, sondern die aufmerksamkeit für die nähe geht mit dem fahrrad einher.

das auto erzeugt ein verhältnis zum raum, das demjenigen des fußgängers und radfahrers widerspricht. die landstraßen vor den zeiten des autos waren verbindungslinien für benachbarte orte, nicht durchgangsstrecken für ferne ziele. kleinteilig geplant, für langsame geschwindigkeiten ausgelegt, um bäche und hügel sich schlingend und mitten auf dem marktplatz mündend.

solche straßen waren für fahrräder und pferdekarren zu gebrauchen, doch der raum-durchdringenden macht des autos nicht gewachsen. das automobil operiert nach einem anderen entfernungsmaßstab, seine vorteile kommen auf langen strecken nur zur geltung, wenn der raum durchlässig ist und das tempo nicht durch kurven, baumalleen, schotterbelag oder andere verkehrsteilnehmer beeinträchtigt wird. mit dem siegeszug des autos kam die durchquerungswut zur vorherrschaft; was galt es da nicht alles abzutragen, durchzustoßen, zu begradigen und zu vereinheitlichen, bis auch der letzte dorfanger zur durchgangsstrecke umgebaut war! für den entfernungshungrigen blick des autofahrers ist einzig das ferne ziel interessant und die nähe verkommt zum toten zwischenraum, in dem durchlaß, ein möglichst geradliniger dazu, zu schaffen ist; deshalb wurde den nischen und vorgärten, den sträßchen und plätzchen der kampf angesagt. wo aber der raum auf die bedürfnisse des durchlaßheischenden autos zugeschnitten ist, da gibt es für den fußgänger kaum mehr etwas zu erleben, zu schauen und zu tun; der tempokonforme raum zerstört den fußgängerkonformen raum. der fußgänger (und auch der radfahrer) liebt das kleinteilige, er fühlt sich wohl wo die gebäude ihr gesicht wechseln, wo das auge über bäume, vorgärten und balkone wandern kann, wo menschen zu treffen und zu beobachten sind, wo auf kurzem weg sich eine vielzahl von eindrücken und anregungen versammelt. dem maß der eigenfortbewegung entspricht der zusammenhängliche, der vielgestaltige und der ereignisreiche raum. der autofahrer hingegen haßt überraschungen und verlangt berechenbarkeit; sein raum ist für den fußgänger gesichtslos und langweilig; damit trug das auto und man kann dies als eine umweltkrise zweiter ordnung bezeichnen - dazu bei, jene umweltbedingungen zu ruinieren, in denen fußgänger und radfahrer sich heimisch fühlen können.“

wolfgang sachs fahrradkultur - was heisst das?

ausser beim reisen war immer schon die fahrzeit ausschlaggebender als die distanz. mit der geschwindigkeitssteigerung des verkehrs sank nicht die fahrzeit, es wuchsen die distanzen.

geschwindigkeit lässt den raum schrumpfen. das land wird kleiner. autofahrer, die tausende kilometer pro jahr in ihrem fahrzeug zurücklegen, zeigen einen verlust an mobilität. ihr bewegungsspektrum wird von unterschiedlichsten bewegungsarten auf die des autofahrens eingengt. je mehr verkehr, desto geringer die mobilität; ballungsräume werden zu stauräumen.

das zersiedelte umland wirft die arbeitenden jeden morgen auf die stadt, auf daß sie am abend in die schlafsiedlungen zurückkehren. tagespendlerströme aus dem umland verdichten sich in den ballungszentren; als ruhender verkehr vergeuden sie öffentliches gut und behindern die mobilität der anwohner.

geschwindigkeit bedeutet egalisierung.

ein lokaler händler muss sich den entfernten großen konkurrenten stellen; arbeitskräfte einer region konkurrieren über große entfernungen (bei wegzeiten bis zu 1,5 stunden) hinweg bei sehr unterschiedlichen lebenshaltungskosten.

verkehr enthebt die politik von der verantwortung, lokale arbeits- und infrastruktureangebote zu fördern.

gute verkehrsanbindungen sind wahlwirksamer als eine gute infrastruktur.

ein deutscher politiker stellte nach seinem besuch in china fest, dass dort der wohlstand wächst, weil die strassen mit pkw anstelle fahr-



shanghai

rädern gefüllt sind.
auto ist wohlstand. dieses paradigma der 50er und 60er jahre glüht noch in uns nach.

mobil ist, wer wählen kann.
ist ein ziel nicht direkt erreichbar, ist umsteigen möglich: vom auto oder zug in die u-bahn oder auf das fahrrad.
fahrradnutzern steht die stadt offen: kurze distanzen, direkte (schleich)wege durch verkehrsberuhigte zonen oder grünanlagen.
stellplatzprobleme gibt es für das fahrrad kaum.

zur mobilen nutzung des rades sind verschiedene systeme erdacht und gebaut worden:

- radabstellanlagen an bahnhöfen
- leihräder an bahnhöfen
- leihräder mit flächendeckender verfügbarkeit (citybikes)
- klappräder zum mitnehmen in öffentliche verkehrsmittel und im pkw
- klappräder zur sicheren platzsparenden verwahrung am arbeitsplatz oder in der wohnung, wenn die sicherheit im öffentlichen raum nicht gegeben ist bzw. keine abstellmöglichkeiten vorhanden sind.

zum intensiven erleben der stadt ist das fahrrad wohl nicht das beste mittel: der flaneur ist hier mit geringeren geschwindigkeiten und schnelleren reaktionszeiten im vorteil.

zur überwindung kurzer bis mittlerer distanzen ist das fahrrad bestens geeignet: ohne übermäßige platzvergeudung im öffentlichen raum, jederzeit abstellbar, schnellster und dennoch nicht abgeschoteter teilnehmer im strassennetz mit sehr hoher flexibilität.

zur überwindung weiter distanzen sind nicht alle räder gleich gut geeignet: schnelle reise-, renn- und liegeräder können ihre vorteile nur auf zubringerrouten aber nicht im stadtbetrieb ausspielen.
klappräder erhöhen die mobilität der benutzer indem sie relativ freie verkehrsmittelwahl ermöglichen.



2002 leitra

34

velomobile, mit denen höhere durchschnittsgeschwindigkeiten als mit herkömmlichen fahrrädern erzielt werden und die neben wetterschutz auch gute transportmöglichkeiten bieten, erweisen sich in ihrer dreidimensionalität und aufgrund des höheren gewichtes als unflexibel; hauseingangstüren, treppen, die mitnahme in öffentlichen und privaten verkehrsmitteln stellen rasch ein problem dar.

3.2 geometrie

3.2.1 körperhaltung – ergonomie

Die Ergonomie ist die Wissenschaft von der Gesetzmäßigkeit menschlicher Arbeit. Der Begriff setzt sich aus den griechischen Wörtern ergon (Arbeit, Werk) und nomos (Gesetz, Regel) zusammen. Zentrales Ziel der Ergonomie ist die Schaffung geeigneter Ausführungsbedingungen für die Arbeit des Menschen, wobei neben der mensch-gerechten Gestaltung des Arbeitssystems (genauer des Arbeitsraumes) vor allem die Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zwischen Benutzer/Operateur (= Mensch) und Objekt (= Maschine) in einem Mensch-Maschine-System eine besondere Bedeutung besitzt

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ergonomie> 03.02.2008

das fahrrad birgt einige ergonomische widersprüche.
nach dem gesichtspunkt der effizienz –eine gewisse strecke mit möglichst geringer arbeitsleistung zurücklegen – ist es bei weitem das beste bewegungshilfsmittel.
die arbeitsbedingungen am rad sind aber nicht immer optimal.
abhängig von der rahmenform und den umweltbedingungen werden dem menschen am rad positionen abverlangt, die bestimmte muskelpartien überbeanspruchen und zu verspannungen führen können.

die draisine forderte vom fahrer eine sehr aufrechte haltung mit der möglichkeit, die arme auf einem stützpolster abzustützen. durch fehlende fußtritte konnten bodenunebenheiten nicht abgedefert werden und das überfahren von schlaglöchern war wahrscheinlich schmerzhaft.

mit den ersten radrennen fand man aus aerodynamischen und ergonomischen gründen (siehe 324 antrieb) immer mehr zu einer gebückten haltung. der komfort und die aerodynamischen vorteile erster liegeräder wurden zwar erkannt, aufgrund des schlechten strassenzustandes und der anfangs noch nicht verbreiteten luftreifen bewährten sich die liegeräder im alltag nicht.

in der klassischen aufrechten position war es möglich, sich bei hindernissen aus dem sattel zu heben und schwere stöße mit den beinen abzufedern.

erfolgreiche rennräder geben die entwicklungen im fahrradbau vor. einerseits über die vorbildwirkung von erfolgreichen fahrern, andererseits das ziel der meisten radfahrer, möglichst schnell und effizient eine gewisse strecke zurückzulegen. auch hobbyradfahrer unterlegen sich dem diktat der rahmengeometrie gemäß UCI.



"um glücklich zu leben, lasst uns im liegen leben"

1934 zeitschrift auto

35



1818 drais

36

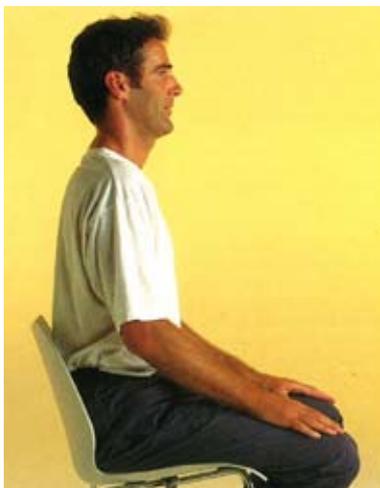


1900 walter taylor

37



nacktenfehlstellung
bildschirmarbeitsplatz 38



entspannte kopfhaltung 39



2006 jan ullrich 40

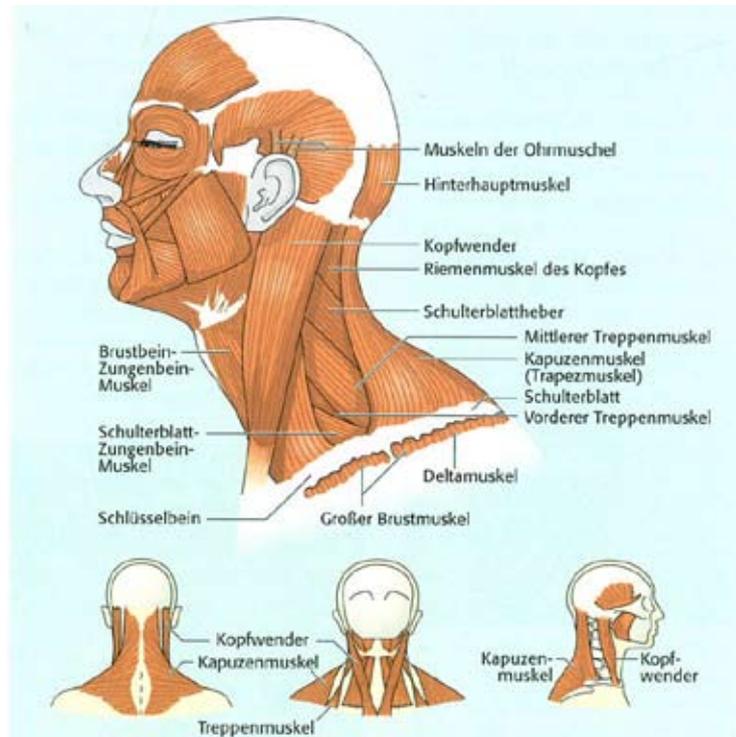


"yogarad" 41



2008 speedmaschine 42

der entspannungsgrad bei der zurücklegung dieses weg ist beim fahren mit dem rennrad nebensächlich. verspannungen im nacken- und schulterbereich stellen eine weit verbreitete zivilisationskrankheit unter den am computer tätigen menschen dar.



als typische fehlerstellung bildet sich eine nach vorne gezogene halswirbelsäule mit nach hinten gezogenem kopf aus. dadurch kommt es zu verkürzungen im hinteren halswirbelsäulenbereich.

die haltemuskeln haben die aufgabe, das skelett senkrecht zu halten. im hals- und nackenbereich gibt es viele verschiedene muskeln, die den hals stabilisieren, sodaß der kopf aufrecht auf der wirbelsäule ruhen kann. zwischen den vorderen beuge- und den hinteren streckmuskeln besteht ein erheblicher kräfteunterschied, der das zurückziehen des kopfes begünstigt. die kleinen nackenmuskel sind besonders anfällig für verspannungen, da sie durch eine ungünstige kopfhaltung überfordert werden. je länger man in einer ungünstigen haltung bleibt, um so länger sind die muskeln angespannt. sie verhärten immer mehr, es kommt zur bildung von muskelnötchen (myogelosen). muskelverspannungen sind häufig ursache für nackenschmerzen, die dazu führen, daß der kopf noch steifer gehalten wird.

diese fehlerhaltung des kopfes bezogen auf den rumpf entspricht auch der kopfhaltung, die ein touren- oder rennradfahrer in einer aerodynamisch günstigen position einnimmt. eine weitere verspannungsquelle ist die erforderliche abstützung der hände über arme und schultergürtel am lenker. die fehlerstellung - abhängig von der rahmengenometrie - wird in dem sinne beim radfahren verstärkt.

am sesselrad stellen sich andere geometrien ein; durch die aufrechte bzw. nach hinten geneigte haltung des oberkörpers kann der kopf frei am nacken sitzen, der blick unangestrengt nach vorne schweifen. die hintere nackenmuskulatur wird gedehnt. beim liegerad muss der kopf durch die vorderen beugemuskel vorne gehalten werden, wodurch sich ein zur „büroposition“ gegenteiliger effekt einstellt.

betrachtet man das spektrum der gesundheitlichen vorteile des liegerades gegenüber herkömmlichen fahrrädern, ist leicht ersichtlich, warum mediziner der verschiedensten disziplinen, vom neurologen bis zum urologen zum liegerad raten:

** komfortabel gefedert wirken keine stauchenden schläge auf die wirbelsäule ein. der druck auf die bandscheiben wird um mehr als das zehnfache reduziert.*

** schulter-, ellenbogen- und handgelenke werden nicht wie beim konventionellen fahrrad dauerhaft und extrem statisch belastet*

** mangels druck auf die handgelenke entsteht keine taubheit in den fingern.*

** die halswirbelsäule wird nicht überstreckt, damit werden verspannungen und wirbelschädigungen vermieden.*

** keine einengung der bauch- und brustorgane oder wichtiger blutgefäße (wie es beim rennrad und mountain-bike der fall ist).*

** durch die niedrigere herzfrequenz und geringere pumpleistung, bedingt durch die fast horizontale lage des körpers, wird das herz entlastet. (das blut braucht nicht von unten nach oben gepumpt zu werden). die venen stauen nicht durch das hochlagern der beine bei gleichzeitigem pedalieren (effekt der „muskelpumpe“). also eine eindeutige erleichterung. durch das widerlager des oberkörpers beim pedalieren werden nicht nur die bein- und gesäßmuskeln, sondern auch die bauch- und rückenmuskeln dynamisch mittrainiert (das perfekte „bauch-beine-po“ - programm...).*

** durch die großflächige sitzaufgabe werden druck- und reibungspunkte am gesäß vermieden.*

** der urologe prof. dr. porst bescheinigt dem liegerad „alle vorzüge eines normalen fahrrades mit dem weiteren vorteil, dass es den blutfluss im genitalbereich nicht einschränkt.“ – und spricht damit vielen männern aus der ...seele.*

** der kölnler urologe und sportmediziner dr. frank sommer empfiehlt in seinem buch „vigorobic“ ganz selbstverständlich: „so helfen einfache körperübungen das gefäßsystem zu trainieren und die sauerstoffzufuhr des beckens zu verbessern. mit einer kombination aus ausdauertraining und speziellen übungen sollen die patienten sich selbst wieder fit machen. dazu gehören laufen oder kniebeuge und beinpresse. beim radfahren sollten männer aber eher auf ein liegerad umsteigen, um keine gefäße abzupressen.“*

** und auch der chirurg würde sicher einstimmen, bedenkt man die im fall eines unfalls sehr niedrige fallhöhe und geringe überschlagwahrscheinlichkeit. speziell der kopf ist von einem möglichen unfallgegner weit entfernt und durch füße und beine geschützt. bei einem konventionellen fahrrad trifft er oft als erstes auf das hindernis auf...*

http://www.toxy.de/1_Qualitaet/Gesundheit_produk.html

der blick nach hinten und die drehung des kopfes ist aufgrund der stärkeren fixierung des rückens über die rückenlehne nicht so einfach zu realisieren, daher verwenden viele liegeradfahrer helm Spiegel.

lenkerpositionen vor dem körper erweisen sich durch den geringeren luftwiderstand als förderlich, auch ist das fahren mit vorne liegendem lenker am anfang einfacher als mit untenliegendem lenker. nachteilig wirkt sich die manchmal gedrängte situation beim aufsitzen aus; aus diesem grund werden obenliegende lenker manchmal klappbar ausgeführt.

bei einem unfall stellt der vor dem brustkorb liegende lenker samt lenkerrohr eine zusätzliche verletzungsmöglichkeit dar.



haltung rennrad



haltung liegerad

der körperwinkel ist bei rundtretenden antrieben der winkel zwischen der gedachten linie von der sitzhinterkante zum tretlager und der rückenlehne.
 ein körperwinkel von 115 ° entspricht einer ähnlichen haltung wie am rennrad und ermöglicht eine maximale muskelleisungen durch die vorspannung des Oberschenkel-streckmuskels (glutaeus maximus, siehe 3.2.4 antrieb), ist jedoch etwas unbequem.
 körperwinkel um 125° stellen einen guten kompromiss zwischen komfort und leistungsentfaltung dar.
 ab 135 °ist die einleitung der kräfte in die pedale nicht mehr optimal möglich.



1980 cutting edge 43

die sitzhöhe ist nach oben durch die körpergröße begrenzt. nach unten kann der sitz fast beliebig abgesenkt werden, was vor allem bei rennliegern aufgrund der angestrebten reduktion der aerodynamisch wirksamen flächen angewendet wird.

bei sehr tiefliegenden sitzen wird das körpewicht auf dem rücken verteilt; zur ableitung der reaktionskräfte aus dem treten sind über die sitzausformung geeignete abstützmöglichkeiten vorzusehen.



2008 street machine 44

mit der sitzhöhe direkt verknüpft ist die augenhöhe; vor allem im stadtbereich sind augenhöhen über 120 cm zu empfehlen, um die übersicht zu wahren. das entspricht in etwa der aughöhe eines klassischen autolenkers.

die zunehmend beliebten SUV fahrzeuge stellen in dieser hinsicht eine für den gesamtverkehr negative entwicklung dar. nachteilig bei langen liegern wirkt sich die relativ weit hinten befindliche kopfposition für den überblick an kreuzungen aus. dies ist mit ein grund, warum liegeräder in der stadt als unsicherer gegenüber dem klassischen rad empfunden werden.

je nach verwendetem sitz kann es zu schweißbildung im rückenbereich kommen, da die ventilation im lehnenbereich nur eingeschränkt möglich ist. es gibt lösungen von bespannten sitzen bis zu perforierten schalen, hier ist das klassische rad mit seinem kleinflächigen fahrradsattel im vorteil.



2008 zox low 45

tretlagerposition abhängig von sitzhöhe und körperwinkel ist das tretlager bereits vordefiniert.

bis vor einigen jahren wurde ein knapp unter der sitzhöhe liegendes tretlager bevorzugt, um ein optimum aus aerodynamik und ergonomie zu erreichen; dies wird für den gebrauch in der stadt auch noch beibehalten, um einen guten überblick im straßenverkehr zu ermöglichen.

für tourenlieger werden tretlager auf 20 cm über sitzhöhe favorisiert, um aerodynamische vorteile zugunsten höherer fahrgeschwindigkeiten zu erzielen.

3.2.2 aerodynamik

im gegensatz zum motorisierten verkehr, wo die dem fahrzeug entgegengetretenden kräfte durch maschinellen einsatz überwunden werden, wird bei muskelkraftbetriebenen fahrzeugen weiterhin rücksicht auf schlanke linien und aerodynamische eleganz gelegt.

seit beginn der radrennsports nehmen die fahrer eine stark gebeugte haltung zur reduzierung des luftwiderstandes ein, was nebenbei auch eine leistungssteigerung durch stärkere vordehnung des ober-schenkelstreckmuskels bewirkt.

schon 1912 meldete etienne bunau-varilla eine windschlüpfrige vollverkleidung zum patent an, 1914 entstand eine zeppelinförmige verkleidung in deutschland.

1914 fuhr oscar egg, der damalige stundenrekordhalter mit einer stromlinienförmigen „heckverkleidung“ einen neuen stundenrekord. nach einem unfall bei einem rennen mit tödlichem ausgang (es kollidierten der niederländische weltmeister piet dickentman und der europameister arthur stellbrink aus berlin mit verkleideten rädern) änderte die uci noch 1914 die regeln und verbot verkleidungen im rennsport.

1933 stellte pierre mochet sein velocar im rennsport vor, das ohne verkleidung aufgrund der liegenden fahrerposition eine wesentlich geringere effektive stirnfläche bot. der fahrer francais faure fuhr damit einen sensationellen stundenrekord (45 km in einer stunde), worauf vom uci die rahmenform und die sitzposition auf das heute noch aktuelle rennrad festlegte.

seit 1967 werden vom uci hautenge trikots und aerodynamische helme für die fahrer erlaubt, im rahmenbau dürfen seither auch ovale rohre verwendet werden.

1975 gab es ein rennen ausserhalb des uci, an dem 14 originellen räder – zum großteil liegeräder – teilnahmen.

der damalige geschwindigkeitsweltrekord wurde um 3 km/h überboten. seitdem gibt es neben den uci konformen rennrädern eine weiterentwicklung von fahrrädern im liegeradbereich.

die höchste bisher mit einem fahrrad erreichte geschwindigkeit beträgt 130,2 km/h, gefahren von sam wittingham 2002.

der aktuelle stundenrekord wird seit 2006 von fred markham mit 85,99 km gehalten; im vergleich dazu liegt der stundenrekord innerhalb der regeln des uci bei 49,7 km gefahren von ondrey sosenska im jahr 2005.

aus der entwicklung lässt sich der grundlegende aerodynamische und biomechanische vorteil von liegerädern ablesen; bei den geschwindigkeiten im städtischen bereich steht die aerodynamik jedoch nicht im vordergrund.

den hauptanteil am luftwiderstand trägt der menschliche körper mit ca. 80%, die restlichen 20% entfallen auf den widerstand des rahmens und der laufräder.

windeinflüsse kommen natürlich auch schwer zum tragen; allgemein kann bei gleicher antriebsleistung die halbe windgeschwindigkeit dem radfahrer bei rückenwind zugeschlagen oder bei gegenwind abgezogen werden.

durch das fahren im windschatten von anderen radfahrern kann die benötigte antriebsleistung um 70% verringert werden.

die areodynamischen qualitäten eines fahrrades mit fahrer sind ein produkt aus der projizierten stirnfläche und dem luftwiderstandsbeiwert.

hierbei sind jedoch noch verwirbelungen durch die drehenden füsse und räder zu berücksichtigen, sodass die windkanalwerte meist im feldversuch verifiziert werden müssen.



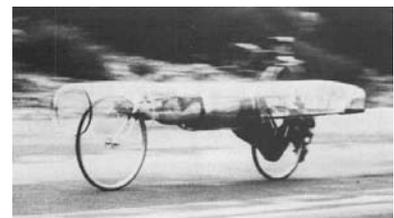
1913 bunau-varilla

46



1914 oscar egg

47



1975 alan abbott

48



1978 watson

49



2006 markham

50

in nachstehender tabelle können – bezogen auf rahmengenometrie und fahrerposition die jeweiligen kennwerte abgelesen werden.

| Beschreibung | Kräfte bei 32,2 km pro Stunde (Kilogramm) | aerodynamische Daten | | | Rollwiderstands-Koeffizient | ebener Grund, Windstille | | | Steigung/Gefälle | | | |
|--|--|---|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|------------------|---------------------|-------|-------|
| | | Sog-Koeffizient | Stirnfläche (Quadratm.) | effektive Stirnfläche (Quadratm.) | | PS-Verhältnis | Tagesdurchschnitt | Spitzengeschwindigkeit | aufwärts | abwärts im Freilauf | | |
| Standardfahrräder | | | | | | | | | | | | |
| BMX (Jugend-Geländerrad) | Rad 13,6 Kilogramm, Fahrer 55 Kilogramm, 20-Zoll-Geländerräder (Falgendurchmesser 406 Millimeter, Druck 2,5 bis 3 bar) |  | 2,50 0,95 | 1,10 | 0,48 | 0,50 | 0,014 | 146 | 16,3 | 44,7 | 19,6 | 31,9 |
| europäisches Standardrad | Rad 18,1 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, 27-Zoll-Tourenbereifung (Falgendurchmesser 650 Millimeter, Druck 2,5 bis 3 bar) |  | 2,79 0,54 | 1,10 | 0,51 | 0,56 | 0,006 | 140 | 16,2 | 44,4 | 17,5 | 38,6 |
| Tourenrad (gestreckte Arme) | Rad 11,3 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, 27-Zoll-Sportbereifung (Druck 3,5 bis 4 bar) |  | 2,0 0,38 | 1 | 0,40 | 0,40 | 0,0045 | 100 | 21,1 | 50,0 | 19,6 | 44,6 |
| Rennrad (gebeugte Haltung) | Rad 9,1 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, 27-Zoll-Rennbereifung (Druck 8 bis 10 bar) |  | 1,58 0,24 | 0,88 | 0,36 | 0,32 | 0,003 | 77 | 23,7 | 54,6 | 20,9 | 50,2 |
| verbesserte Standardmodelle | | | | | | | | | | | | |
| Rennrad mit aerodynamischen Hilfsmitteln (gebeugte Haltung) | Rad 9,1 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, 27-Zoll-Rennbereifung (Druck 8 bis 10 bar) |  | 1,48 0,24 | 0,83 | 0,36 | 0,30 | 0,003 | 73 | 24,1 | 55,7 | 20,9 | 51,8 |
| aerodynamische Teilverkleidung (Zipper; gebeugte Haltung) | Rad 9,5 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, 27-Zoll-Rennbereifung (Druck 8 bis 10 bar) |  | 1,25 0,34 | 0,70 | 0,38 | 0,27 | 0,003 | 87 | 24,8 | 57,5 | 21,1 | 54,6 |
| Liegerad (Easy Racer) | Rad 12,2 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, Sportbereifung, vorn 20 Zoll, hinten 27 Zoll (Druck 7 bis 8 bar) |  | 1,35 0,43 | 0,77 | 0,35 | 0,27 | 0,005 | 75 | 23,2 | 56,6 | 20,1 | 54,2 |
| Tandem | Rad 19,1 Kilogramm, zwei Fahrer 146 Kilogramm, 27-Zoll-Sportbereifung (Druck 7 bis 8 bar) |  | 2,41 0,73 0,37 | 1 | 0,48 | 0,48 | 0,0045 | 66 | 24,5 | 58,9 | 20,9 | 56,6 |
| Steherrennen (Fahrrad als Schrittmacher) | Rad 9,1 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, 27-Zoll-Rennbereifung (Druck 8 bis 10 bar) |  | 0,88 0,24 | 0,50 | 0,36 | 0,18 | 0,003 | 47 | 28,2 | 66,0 | 21,9 | 67,1 |
| Rakot-Fahrräder | | | | | | | | | | | | |
| Blue Ball (Einsitzer-Zweirad) | Rad 18,1 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, Rennbereifung, vorn 20 Zoll, hinten 27 Zoll (Druck 8 bis 10 bar) |  | 0,28 0,36 | 0,12 | 0,46 | 0,06 | 0,004 | 27 | 36,2 | 94,3 | 20,8 | 124,6 |
| Kyle (Zweisitzer-Zweirad) | Rad 23,6 Kilogramm, zwei Fahrer 146 Kilogramm, Rennbereifung (Druck 8 bis 10 bar) |  | 0,65 0,33 0,76 0,25 | 0,20 | 0,65 | 0,13 | 0,003 | 24 | 37,5 | 91,1 | 22,5 | 112,5 |
| Vector-Einer (Dreirad) | Rad 30,8 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, Rennbereifung, vorn 24 Zoll, hinten 27 Zoll |  | 0,23 0,46 | 0,11 | 0,42 | 0,05 | 0,0045 | 29 | 35,1 | 98,5 | 18,2 | 145,0 |
| Vector-Tandem (Dreirad) | Rad 34 Kilogramm, zwei Fahrer 146 Kilogramm, 24-Zoll-Rennbereifung |  | 0,28 0,14 0,81 0,49 | 0,13 | 0,44 | 0,06 | 0,0045 | 23 | 41,2 | 116,7 | 20,9 | 174,4 |
| theoretische Grenzen | | | | | | | | | | | | |
| theoretisch perfektes Fahrrad | kein Rollwiderstand, kein aerodynamischer Widerstand am Rad |  | 1,39 0 | 0,80 | 0,35 | 0,28 | 0 | 59 | 26,9 | 57,8 | 21,6 | 55,8 |
| Fahrer ohne aerodynamischen Widerstand | im Rollwiderstand ist das Gewicht des Fahrers berücksichtigt |  | 0,60 0,37 | 1,10 | 0,11 | 0,12 | 0,0045 | 41 | 29,6 | 73,7 | 21,4 | 80,9 |
| theoretisch perfektes Liegerad, Fahrer in Rückenlage, Füße voran | aerodynamischer Widerstand nur am Fahrer |  | 0,33 0 | 0,60 | 0,11 | 0,07 | 0 | 14 | 43,6 | 93,8 | 27,0 | 107,7 |
| theoretisch perfektes Liegerad, Fahrer in Bauchlage, Kopf voran | aerodynamischer Widerstand an kleinem, kräftig gebautem Fahrer |  | 0,23 0 | 0,60 | 0,07 | 0,05 | 0 | 10 | 48,9 | 105,1 | 37,3 | 105,1 |
| theoretisch perfektes, stromlinienverkleidetes Liegerad, Fahrer in Bauchlage, Kopf voran | |  | 0,03 0 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 0 | 1 | 93,8 | 202,5 | 41,2 | 280,8 |
| Fahren im idealen Windschatten (Motorfahrzeug als Schrittmacher) | Rad 19,1 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, Motorrad-Straßenrennbereifung |  | 0 0,55 | | | variiert mit Geschwindigkeit | 0,006 | 23 | 47,3 | 473,1 | 20,3 | ? |
| Mond-Rad | Rad 11,3 Kilogramm, Fahrer 73 Kilogramm, Raumanzug 6,8 Kilogramm |  | 0 0,07 | | | 0 | 0,0045 | 3 | 382,2 | 3822,1 | 126,2 | ? |

darstellung der leistung von muskelgetriebenen landfahrzeugen. die für jedes fahrzeug unter „kräfte“ angeführten werte zeigen den luft- bzw. rollwiderstand. die fünf zahlenkolonnen ganz rechts zeigen der reihe nach:
 -die bei einer geschwindigkeit von 32 km/h erforderlichen PS in prozent der leistung eines radfahrers
 -die ganztags tourengeschwindigkeit in km/h bei einer leistung von 0,1 PS
 -die höchstgeschwindigkeit bei einer leistung von 1 PS
 -die konstante geschwindigkeit in km/h bei bergauffahrt mit einer steigung von 5% und einer leistung von 0,4 PS
 -die geschwindigkeit bei einer fahrt bergab mit gefälle 5% im freilauf

tabelle aus spektrum der wissenschaft, februar 1984

bei geschwindigkeiten bis zu 15 km/h sind die energieverluste vorwiegend durch rollreibung und innere reibung in antrieb und radnaben bedingt. während diese reibung bei höheren geschwindigkeiten in etwa konstant bleibt, steigen die widerstände aufgrund des luftwiderstandes rapide an; so benötigt ein aufrechter radfahrer bei 30 km/h rund 80% seiner leistung zur überwindung des luftwiderstandes.

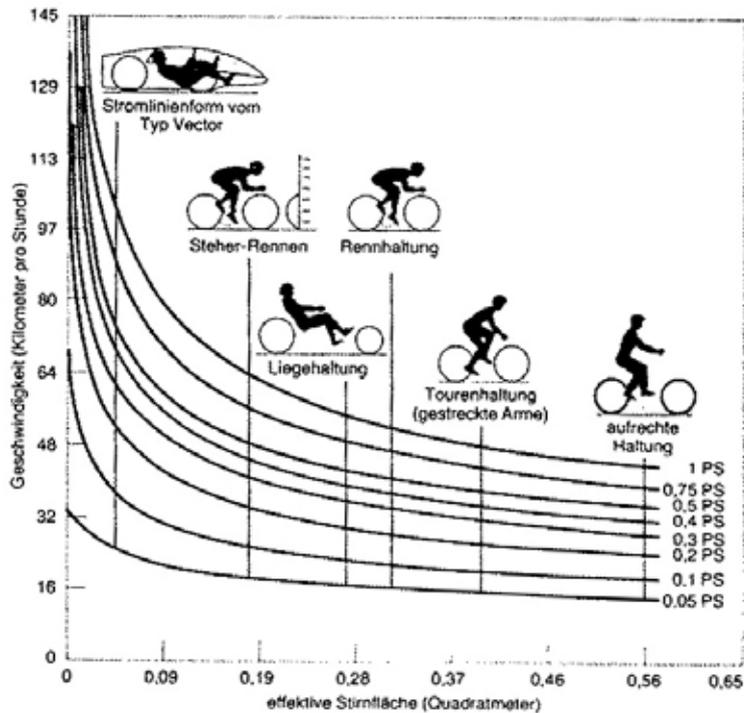
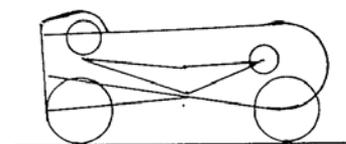
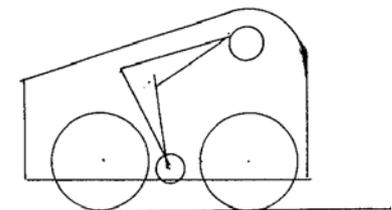


tabelle aus spektrum der wissenschaft, februar 1984

aufgrund dieser erkenntnisse scheint eine adaptierung der rahmgeometrie für
 stadt - geringere geschwindigkeiten - guter überblick
 land - höhere geschwindigkeiten - tiefere sitzposition
 erstrebenswert.

verkleidungen (auch als wetterschutz) werden besonders bei liegerädern oft angedacht.
 nach einer studie von prof. schöndorf ist eine vollverkleidung weder für ein klassisches fahrrad noch für ein liegerad ausreichend seitenwindstabil.
 vollverkleidete räder werden daher als drei- oder vierradausführungen gebaut und sind nicht inhalt dieser arbeit.



3.2.3 geometrie und fahrverhalten

im 18. jahrhundert und zu beginn des 19. jahrhunderts unterhielten viele fahrradhersteller eigene fahrradschulen. in diesen oft auch indoorschulen gab es, ähnlich heutigen eislaufplätzen, musik, vorführungen besonders weit fortgeschrittener fahrer, gastronomie und unterhaltung sowie sehr gute fahrbahnverhältnisse.

*„die ersten übungen mit diesen draisinen sind im zimmer oder auf ganz frischem, glattem boden, wenn möglich auf einer kleinen schiefen ebene vorzunehmen. der wagen wird stark gegen den fahrer geneigt, um ihn leichter besteigen zu können; auf denselben sitzend, gebe man mit beiden füßen einen gleichmässigen, sanften stoss, den wagen sanft vorwärts bewegend und suche dann balance zu halten, indem man die füsse etwas von dem boden hebt und sich balancierend zu halten sucht; sobald man aber die balance einigermaßen halten kann, muss man sofort versuche machen, mit den füßen auch die fusstritte zu benützen. dorthin zu lenken, wo der wagen hinfallen will, ist die ganze kunst und muss dies eingeübt und zur gewohnheit werden. körper und geist fühlen sich angenehm gestärkt und gehoben. nicht hitzig sondern vorsichtig müssen die ersten versuche und übungen vorgenommen werden und nicht durch kraft, sondern durch geschicklichkeit, welche jeder mensch sich aneignen kann, wird der wagen beherrscht. ...“
belehrung zur handhabung der erlach'schen 2-rädrigen draisinen
josef erlach august 1881*

in vielen clubs wurde das fahren perfektioniert und gemeinsame ausfahrten unternommen.

heute lernt jedes kind radfahren, meist erst mit einem roller zu balancieren und im anschluss das fahren mit einem klassischen diamantrahmen.

diese in der kindheit eingeübte position am rad erschwert den umstieg auf andere radgeometrien. dazu ist neues lernen erforderlich, das lenken und balancieren muss wieder automatisiert werden.

das labile gleichgewicht auf dem fahrrad wird über einen regelkreis gehalten:

sobald der radfahrer bei der geradeausfahrt das abweichen des schwerpunktes von der aufstandslinie wahrnimmt und zu kippen droht, lenkt er sein rad wieder unter den schwerpunkt. tatsächlich stellt sich die geradeausfahrt eines radfahrers immer als leichte schlangenlinie dar. je tiefer der schwerpunkt von rad und fahrer dabei liegen, desto unruhiger wird das system, da die ausgleichenden steuerbewegungen umgehend eine wesentlich größere neigungsänderung nach sich ziehen.

liegt der schwerpunkt über dem vorderrad ist die gefahr des ausbrechens aus der gewollten fahrspur größer. liegt der schwerpunkt über dem hinterrad, neigt das vorderrad zum flattern, in kurven kann das rad im sinne der trägheit geradeaus schieben.

fast alle räder sind freihändig zu fahren.

durch radgröße, geometrie des steuerkopfes, die geschwindigkeit und dem gyroskopische effekt ist es dem geübten radfahrer kein problem, das rad ohne lenkerbenutzung zu steuern:

durch seitliches abknicken in der hüfte wird das rad aktiv leicht zur gewünschten seite gekippt. der gyroskopische effekt wandelt diese kippbewegung am vorderrad in eine drehung um das lenkrohr um. auf diese weise wird der lenker bewegt, ohne von den händen geführt zu werden und man kann das rad aufrecht halten.



Das Vorläufer in der Meinen Welt - Fahrschule in New York
ca 1869 fahrschule in new york

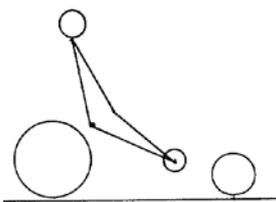
51



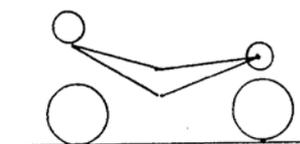
1878 mitglieder des erlach'schen
velozipedisten clubs

52

übersicht über die geometrien von liegerädern



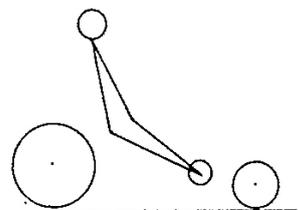
sehr früh wurde begrifflich zwischen liegerädern und sesselrädern unterschieden:
liegt das tretlager unterhalb der sitzhöhe wird von einem sesselrad gesprochen. dies ergibt eine bequeme position, ähnlich der des autofahrers.



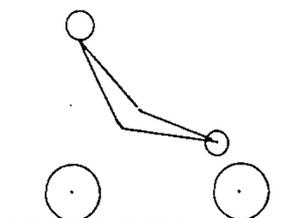
liegt das tretlager über der sitzfläche, spricht man von einem liegerad. große vorteile dieser anordnung ergeben sich im aerodynamischen bereich durch die erzielbare kleine stirnfläche. von nachteil ist die einschränkung des sehfeldes durch die pedalierenden füsse (keine direkte sicht auf die strasse vor dem vorderrad) und auch das erforderliche vorbeugen und wenden des kopfes.

die lage des tretlagers in bezug auf das vorderrad ist sehr charakteristisch für die art des sesselrades.

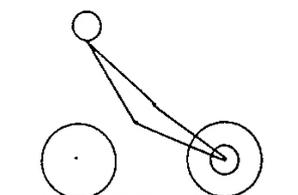
wenn man bei der konstruktion eines sesselrades von einem üblichen rad ausgeht, legt man zuerst den sitz tiefer und muß deshalb das tretlager nach vorne legen. man kommt nun in konflikt mit dem vorderrad. das problem kann auf 4 arten gelöst werden:



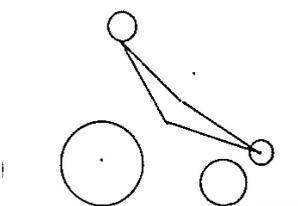
1.
das vorderrad wird weiter nach vorne verlegt, indem man den radstand verlängert.
diese lösung ergibt sehr lange, fahrstabile fahrräder, deren lenkung wegen des großen abstandes vom sitz zum vorderrad kompliziert wird. es kommt entweder eine indirekte lenkung oder ein sehr flacher steuerkopf, seltener ein lenker mit langem schwenkarm, zum einbau. nachteilig an diesen rädern ist die schlechte übersicht im verkehr und eine relativ geringe wendigkeit.



2.
das tretlager liegt über dem vorderrad.
das ergibt fahrstabile räder mit einer länge ähnlich einem normalen fahrrad, aber einem größeren radstand. es erzwingt ein hochliegendes tretlager und folglich ein kleines vorderrad. der fahrer sitzt relativ hoch, kann deshalb gut balancieren hat eine gute sicht und sitzt oberhalb des spritzwasserbereiches.



3.
das tretlager liegt im vorderrad.
dies ermöglicht kurze räder mit normal großen laufrädern. mitunter nachteilig ist aber der einfluß des tretens auf die lenkung. bei ausreichender übung kann mit den füßen gelenkt werden. technisch ist die ausführung der vorderradnabe mit im handel erhältlichen produkten nicht möglich.



4.
das tretlager liegt vor dem vorderrad.
diese lösung ermöglicht, wegen des kurzen radstandes, die kürzesten und die leichtesten sesselräder mit sehr direkten fahreigenschaften. es besteht die gefahr der kollision der füße mit dem vorderrad und des blockierens des hinterrades beim bremsen, da die lastverteilung ungünstig ist.

3.2.4 antrieb

die einleitung der muskelkräfte in das fahrrad

fahrräder werden heute überwiegend mithilfe zweier pedale und einem kettentrieb auf das hinterrad angetrieben. dieser antrieb wurde 1885 nachweislich erstmals in england vorgestellt (bsa niederrad england abb 11).

dank der eingebauten übersetzung konnte damit vom großen rad-durchmesser des hochrades auf das benutzerfreundlichere niederrad gewechselt werden. über jahrhunderte wurde dieser antrieb in technik, material und konfiguration verbessert.

vom beginn der fahrradentwicklung bis heute gab es immer wieder alternative ansätze:

beginnend mit dem „laufantrieb“ der draisine wurde mit pendelantrieben, handkurbeln, schwinghebeln, ruder- und wippantrieben experimentiert.

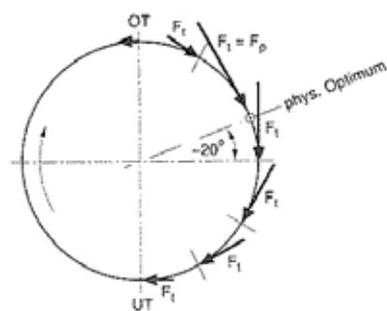
ähnlich wie bei den rahmenformen wurde aufgrund der regeln des uci die industrielle forschung auf den rundtritt festgelegt, da hersteller und sponsoren kein interesse an der entwicklung eines nicht wettkampfmöglichen antriebes hatten.

mit dem kettenantrieb sind aufgrund der technischen entwicklung getriebewirkungsgrade von über 98% möglich. dabei ist der wirkungsgrad der umsetzung der menschlichen muskelenergie in die rotationsenergie des vorderen pedalpaares nicht eingerechnet.

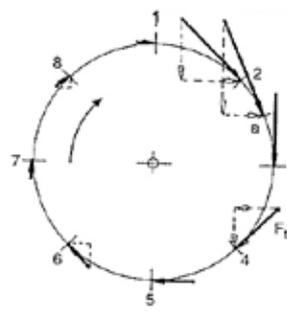
um die kräfte effizient in die kurbeln einleiten zu können, sind folgende parameter erforderlich:

- feste verbindung von radschuhen und pedalen
- optimale koordination = „runder tritt“
- körperposition entsprechend einem gut eingestellten rennrad

diese parameter werden nur von sehr wenigen alltagsfahrern erfüllt. optimierte schuhe für pedalclips sind unmodisch und zum gehen nur schlecht geeignet. auch die tiefe rennradposition ist bei alltagsradfahrern nicht verbreitet.



pedalkräfte „unrunder tritt“
gressmann, fahrradphysik und biomechanik



pedalkräfte „runder tritt“

merkmale von alltagsradfahrern:

- freies aufsetzen des fußes auf das pedal (auch sicherheitsvorteil)
- fehlen eines runden trittes, antrieb des pedals vorwiegend in richtung der schwerkraft
- meist aufrechtere oberkörperposition als am rennrad



1885 xtraordinary challenge
hebelantrieb, gute pedalkurve 53



1905 levocyclette
erste 10-gang schaltung 54



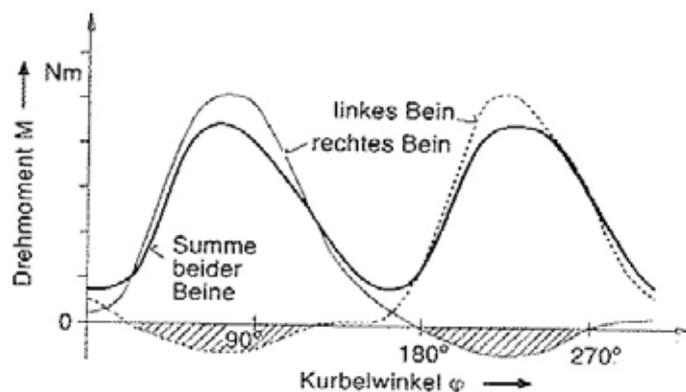
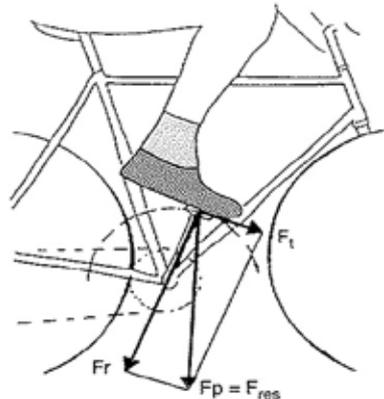
2005 ruderrad aviroute
ganzkörper ruderbewegung 55



2007 streetstepper
konzept aus fitnesscentern (stepper) 56

beim fahren ohne dem „runden tritt“ sind leistungsverluste von ca. 36% anzusetzen, was durch folgende graphik verdeutlicht wird:

die pedalkraft F_p wird in eine tangentialkomponente F_t und radialkomponente F_r zerlegt. die tangentialkomponente verrichtet dynamische arbeit; die radialkomponente erzeugt kein drehmoment, die energie geht in der elastischen verformung des rahmens verloren.



drehmomentverlauf beim unrunder tritt in der realität. der negative momentenanteil unterhalb der nullinie ist hier schraffiert dargestellt. je kleiner dieser anteil ist, desto mehr nähert sich der fahrer dem runden tritt.

gressmann, fahrradphysik und biomechanik

der runde tritt ist keine selbstverständlichkeit. auch profis müssen zu saisonbeginn an der optimalen muskelkoordination arbeiten. die koordination kann auf trainingswalzen unter betrachtung des zugtrums der kette analysiert werden.

„Dabei wird eine Bewegung je flüssiger, eleganter und leichter, desto weniger sie durch die Bremswirkung der antagonistischen Muskelgruppen behindert wird, desto besser die Koordination zwischen Synergisten und Antagonisten funktioniert. Viele Sportler wissen aus Erfahrung, dass ein neuer Bewegungsablauf beim Erlernen einer neuen Sportart zuerst immer verhältnismäßig anstrengend ist und relativ schnell zu Ermüdungserscheinungen führt.

Das liegt daran, dass das motorische Nervensystem einen bestimmten Trainingszeitraum benötigt, um herauszufinden, durch welche optimale Kombination und Koordination mit welchem Muskel sich diese neue Bewegung am besten bewerkstelligen lässt. Wenn am Ende eines Übungsprogramms die gleiche Bewegung mit viel weniger Kraftaufwand und gewissermaßen spielend leicht ausgeführt werden kann, bedeutet das unter anderem, dass durch die verbesserte Koordinationsleistung des motorischen Nervensystems die Muskeln optimaler zusammenarbeiten und die entsprechenden Antagonisten weniger bremsen.

Koordination lässt sich erlernen und durch Training verbessern.“

p. marqworth, sportmedizin

3.2.4.1 analyse der muskelleistungen und pedalbahnen

eine computersimulierte studie zum rennradantrieb ergab mit vom rundtritt abweichenden pedalbahnen die möglichkeit der leistungssteigerung von bis zu 17%.

die studie wurde unter folgenden randbedingungen erstellt:

kurzfristige Maximalbelastung (Radsprint), d.h. Leistungslimitierung bei voller Aktivierung zufolge der Abhängigkeit der Muskelkraft von augenblicklicher Muskelfaserlänge und Kontraktionsgeschwindigkeit.

ebene Pedalführung

starre Verbindung Radschuh – Pedale. Dies entspricht einer Verwendung von Pedalhaken und Riemen oder von Pedalautomaten, so daß keine Einschränkungen bezüglich der Pedalkraftrichtung gegeben sind.

übliche Sitzposition, d.h. Fixierung des Beckens durch den Sattel, Oberkörperneigung entsprechend einer tiefen Lenkergriffhaltung am gut eingestellten Rennrad.

optimale Koordination.

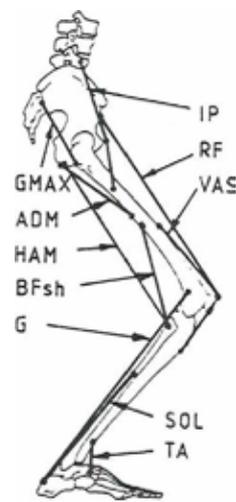
personenspezifische Daten für eine ca. 178 cm große und 70 kg schwere männliche Person

die studie modellierte das bein eines radfahrers unter zugrundelegung angreifender muskelgruppen, bewegungsgeschwindigkeiten und hebelarme. der einfluss des – beim radsprint ebenfalls aktiven – oberkörpers des fahrers blieb unbeachtet.

über das mechanische ersatzmodell wurden bewegungsabläufe und angriffswinkel definiert. unter berücksichtigung der optimalen kontraktionsgeschwindigkeiten wurden die einfachgefederten und die doppeltgefederten muskel modelliert.

folgende muskeln wurden in das rechenmodell aufgenommen:

| | Muskel | Hauptfunktion(en) |
|------|----------------------------|------------------------------|
| TA | Tibialis Anterior | Fußbeuger |
| Gmh | Gastrocnemius medial head | Fußstrecker, Kniebeuger |
| Glh | Gastrocnemius lateral head | Fußstrecker, Kniebeuger |
| SOL | Soleus | Fußstrecker |
| BFsh | Biceps Femoris short head | Kniebeuger |
| BFlh | Biceps Femoris long head | Kniebeuger, Hüftstrecker |
| SM | Semimembranosus | Kniebeuger, Hüftstrecker |
| ST | Semitendinosus | Kniebeuger, Hüftstrecker |
| VI | Vastus Intermedius | Kniestrecker |
| VL | Vastus Lateralis | Kniestrecker |
| VM | Vastus Medialis | Kniestrecker |
| RF | Rectus Femoris | Kniestrecker, Hüftbeuger |
| I | Iliacus | Hüftbeuger |
| P | Psoas | Hüftbeuger |
| GMAX | Glutaeus Maximus | Hüftstrecker |
| GMED | Glutaeus Medius | Abduktor der Hüfte |
| GMIN | Glutaeus Minimus | Abduktor der Hüfte |
| ADM | Adduktor Magnus | Adduktor Hüfte, Hüftstrecker |
| ADL | Adduktor Longus | Adduktor der Hüfte |
| ADB | Adduktor Brevis | Adduktor der Hüfte |



muskeln im rechenmodell

bei der darauffolgenden durchrechnung der antriebsleistung kommt der autor zu folgenden ergebnissen:

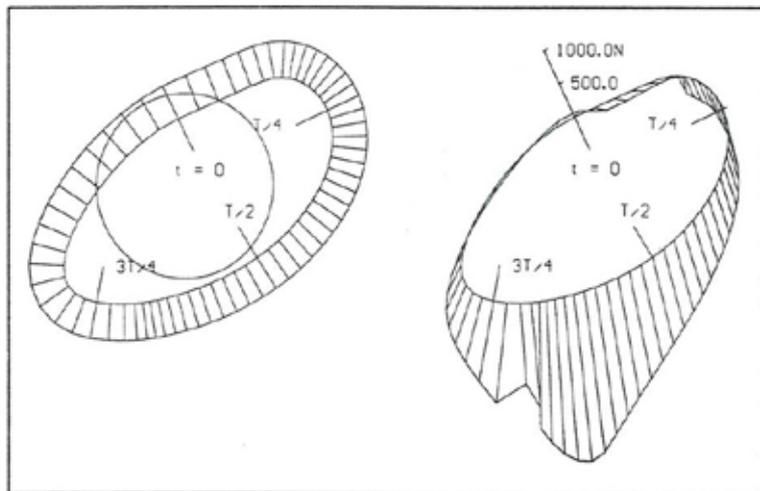
für die kreisrunde pedalbewegung (situation rennrad) wurden 100% leistung angesetzt.

die nachrechnung für ein elliptisches kettenblatt mit kreisrunder pedalbewegung (shimano biopace) ergab eine antriebsleistung von 101,34%.

der antrieb mit rundem tritt und optimierten pedalggeschwindigkeiten (sts-antrieb, roto crank) ergab als antriebsleistung 111,9%; getriebeverluster sind für diesen antrieb nicht eingerechnet.

im weiteren wurde eine leistungsoptimierte pedalbahn mit koppelantrieb entwickelt, um einen maximalen wirkungsgrad zu erzielen: in der kreisförmigen pedalbahn sind hüft- und kniebewegungswinkel phasenmäßig aneinander gekoppelt. durch die entkoppelung können für hüft- und kniegelenk getrennt die optimalen kontraktionsgeschwindigkeiten eingestellt werden um eine optimale leistungsabgabe zu erzielen.

die beugezeit (in der beim „runden tritt“ nur geringe leistungen erzielt werden) wird gegenüber der streckzeit verkürzt.



Simulation: Umfangsgeschwindigkeiten (aus Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pedalpositionen) (links) und Pedalkraftmuster (rechts) für die leistungsoptimale Pedalbahn

roland pawlik, biomechanik des radfahrens

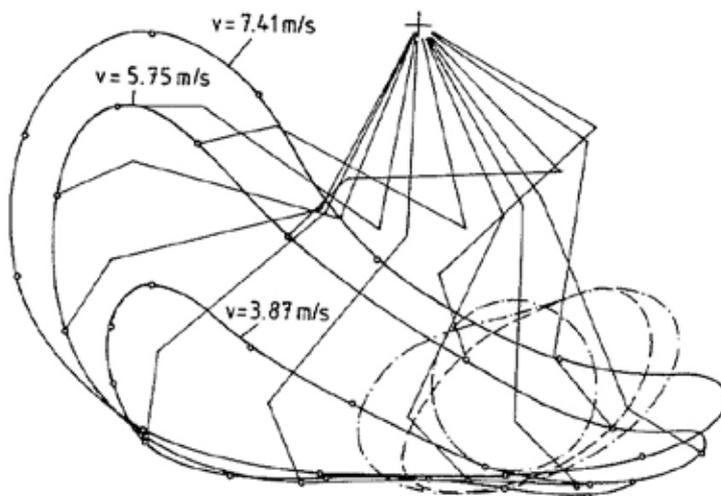
damit wird in der simulation eine leistungsabgabe von 117% erzielt, die vor allem aus dem vergrößerten hüftmuskeleinsatz infolge des größeren hüftwinkelausschlags resultiert. weiters wird durch das größere verhältnis zwischen streck- und beugezeit die tatsache ausgenutzt, daß die streckmuskulatur jeweils größer ausgebildet ist als die beugemuskulatur.

von der vorliegenden koppelkurve wurde an der TU wien ein ergometromodell und ein versuchsfahrrad gebaut, die ergebnisse der studie sind nicht veröffentlicht.

es wurde eine gewisse Ähnlichkeit der leistungsoptimalen Bewegung beim Radfahren mit der Laufbewegung erwartet, weil sich die menschliche Muskulatur über einen Zeitraum von Hunderttausenden Jahren den Erfordernissen des Gehens und Laufens anpassen konnte.

Es sind die beim Laufen bei verschiedenen Geschwindigkeiten auftretenden Größen (ermittelt aus Aufnahmen einer Schmalfilmkamera mit 18 Bildern/s) dargestellt. Der mittlere Hüftwinkel wurde dabei unter der Annahme einer Beckenneigung von 10° nach vorne ermittelt. Es sind auch einige der Merkmale der Laufbewegung bei der leistungsoptimalen Radfahrbewegung zu erkennen.

Eine zu starke Ähnlichkeit der leistungsoptimalen Radfahrbewegung mit der Laufbewegung darf jedoch nicht erwartet werden, da die Randbedingungen für die Bewegung gänzlich unterschiedlich sind. Es kann beim Laufen nur in der Phase des Bodenkontakts eine Kraft übertragen werden, für die Dauer des Bodenkontakts ist ein geometrischer Zwang gegeben.



Die Bahnen des Fußballens relativ zum Hüftgelenk für langsame Laufgeschwindigkeit ($v = 3.87 \text{ m/s}$), mittlere Laufgeschwindigkeit ($v = 5.75 \text{ m/s}$) sowie personenspezifisch maximale Laufgeschwindigkeit ($v = 7.41 \text{ m/s}$). Sie wurden aus Aufnahmen einer Schmalfilmkamera mit 18 Bildern/s ermittelt. Bei der mittleren Laufgeschwindigkeit sind auch die Stellungen der Beinsegmente (Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß) dargestellt. Weiters sind die Pedalbahn für konventionelles Radfahren (strichpunktirt) sowie leistungsoptimale Pedalbahnen (8-parametrisches Optimum (strichliert) und 7-parametrisches Optimum mit $T = 0.60 \text{ s}$ (strichpunktirt)) dargestellt.

roland pawlik, biomechanik des radfahrens

3.2.4.2 pendeltritt

1986 begann der Physikstudent Heinz Deutschmann ein Wechselzuggetriebe an der TU Graz zu entwickeln.

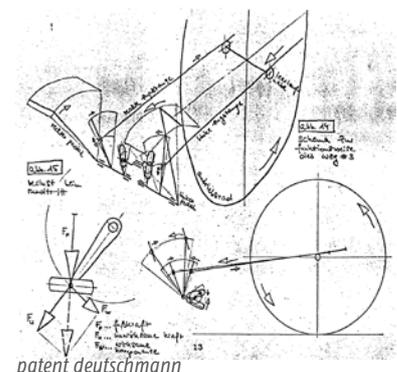
In Computersimulationen wurde berechnet, daß mithilfe eines Wechselzuggetriebes mit einem Leistungszuwachs von 30% zu rechnen ist. Das Ergometermodell hielt den Belastungen nicht stand, sodass die berechneten Werte nicht überprüft werden konnten. Das Modell sah eine Pendelbewegung der Pedale im Bereich der optimalen Fußkraftausbeute vor.

In der Literatur werden oft Nachteile aus diesem Antrieb angesprochen, da hohe Beschleunigungskräfte für die Beine im Bereich der Umkehrpunkte erforderlich sind. Im Gegensatz dazu bietet der Rundertritt eine gleitende Richtungsumkehr.

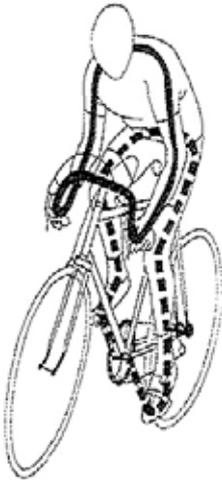
Deutschmann begegnete diesem Effekt mit einem gleitenden Übergang bei dem von ihm entwickelten Getriebe. Das zurücklaufende Pedal bewegt sich schneller als das Antriebspedal, wodurch einen kurzen Moment beide Beine nach unten treten und dadurch eine gleitende Kraft- und Bewegungsabläse möglich ist.



pendeltritt deutschmann



patent deutschmann



unabhängig von dieser optimierung des wirkungsgrades der beinmuskulatur ist auch die rolle des gesamten körpers auf dem fahrrad zu berücksichtigen.

durch die position am klassischen rad sind die pedalkräfte über das eigengewicht des fahrers und die trägheit des körpers limitiert.

durch das gegenhalten am lenker kann eine höhere kraft eingeleitet werden, dabei muss die kraft über lenker, arme, schulter und rumpf in die beinmuskulatur geleitet werden (wiegetritt).

Statische Haltearbeit und dynamische Bewegungsarbeit.

Über die statische Hebelkette „Schulter - Arme - Lenker“ erfolgt hauptsächlich die Steuerung und Stabilisierung des Systems.

Die dynamische Hebelkette „Becken - Beine - Kurbel“ erzeugt den Vortrieb. gressmann, fahrradphysik und biomechanik

dies führt zu einem weiteren anstieg des erenergieverbrauches und damit zu einem abfall des wirkungsgrades. auch beim fahren im sattel wird durch das abstützen am lenker haltearbeit durch die stütz-muskulatur verrichtet.

diese in den untersuchungen oft nicht berücksichtigten zusatzarbeiten sind beim liegerad wesentlich geringer. das gegenhalten am lenker (wiegetritt) entfällt, die abstützung erfolgt im beckenbereich an der rücklehne.

der atmungsapparat wird ebenso wie die inneren organe durch die aufrechte haltung nicht eingeschränkt.

verspannungen im hals- und nackenbereich sind bei gefederten rädern nicht zu erwarten.

wenn keine pedalhaken verwendet, so geht im liegeradfall (tretlager höher als sitzfläche) ein teil der eingesparten energie wieder für das hochhalten der beine verloren.

3.2.5 falten

»Das Fahrrad hat in seiner gewöhnlichen Konstruktion nur einen großen Fehler, welcher darin besteht, daß es eine für den Transport zu schwerfällige Maschine ist. Es ist schwer, ein Fahrrad, wenn es nicht förmlich eingepackt ist, mit der Eisenbahn oder dem Schiff zu transportieren ... Bei dem zusammenlegbaren Fahrrade ist so etwas nicht zu befürchten. Es läßt sich auch leicht mit in die Wohnung nehmen und in derselben bequem aufbewahren.«

anton daul, illustrierte geschichte der erfindung des fahrrades und der entwicklung des motorradwesens, 1906

dieses zitat zeigt bereits die problematik des rades im kombinierten verkehr und bei beengten platzverhältnissen.

das rad ist das erste verkehrsmittel, das zur befriedigung der individuellen verkehrsbedürfnisse auch transportiert wurde. trotz des geringen gewichtes erweist sich ein fahrrad, sobald man es nicht fährt oder schiebt, als sperriges gepäckstück. daher wurden seit beginn der fahrradfertigung zerlegbare und klappbare fahrräder gebaut.

während das dargestellte hochrad zu zerlegen ist, also kein faltrad im eigentlichen sinn darstellt, ist das faun ein reines faltrad, das schnell auf seine halbe gröÙe zu falten war.

die rahmengenometrien der beiden räder entsprechen den der zur damaligen zeit verfügbaren fahrräder.

im gegensatz dazu steht das patent von w.n. wachtelbrenner: es ist optimiert auf faltbarkeit, kleines packmaß und gute transportierbarkeit. aus der damaligen zeit ist keine vergleichbare fahrrad-geometrie bekannt.

das fahrrad ist aufgrund seiner einspurigkeit ein relativ zweidimensionales fahrzeug. lediglich lenker und pedale orientieren sich orthogonal zur hauptebene.

die meisten faltvorgänge wurden über eine vertikale achse in der mitte zwischen vorder- und hinterrad getätigt. aufgrund der einfachheit wurde oft ein einrohrrahmen mit einem gelenk ausgeführt, wodurch schwere rahmen entstanden oder eine geringere stabilität in kauf genommen wurde.

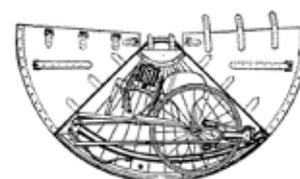
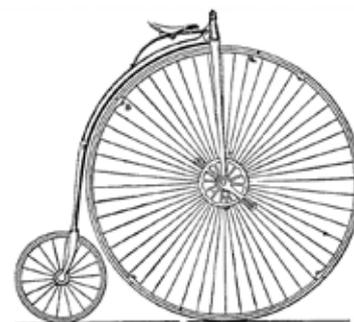
moderne klappräder schwenken oft über die achsen ihrer federung. die hintere federachse muss dabei geringfügig aus der orthogonalen zur fahrzeugsachse gedreht werden, damit die beiden eingeklappten laufräder nebeneinander zu liegen kommen.

alternativ gibt es kupplungssysteme für fahrradrahmen, die auch nachträglich eingebaut werden können. fast jeder rahmen kann damit nachgerüstet werden.

ein problem stellt meist der antrieb mit seiner kette dar. abgesehen von der verschmutzungsgefahr, die von einer fahrradkette ausgeht, wird beim klappen um die federungsachse die kette mittels spannräder auf den ritzeln gehalten um ein ausfallen bzw. heraushängen zu vermeiden.

ein weiterer aspekt der tragbaren falträder ist das geringe gewicht. extremer leichtbau führt oft zu stabilitätsverlusten, die tretarbeit wird zum teil im weichen rahmen als verformungsarbeit vernichtet.

ein möglichst einfacher, schneller, schmutzfreier faltvorgang ist für ein erfolgreiches faltrad erforderlich. meist ist das gefaltete rad über einen griff tragbar oder lässt sich wie ein trolley hinterherziehen. als zubehör werden taschen, koffer oder rucksäcke angeboten.



The Groust Portable bicycle

1878 the groust portable bicycle

57

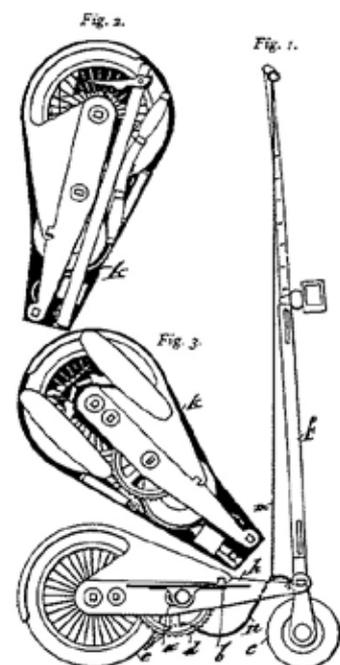
GENTS' FOLDING CYCLE.-Open.
(FOLD AS LADY'S. SEE PAGE 4.)

The Faun Gent's folding cycle (above) and the Lady's model (folded, below)



1888 faun folding cycle

58



1902 faltrad wachtelbrenner

59



1942 BSA paratrooper 60

die raddurchmesser bewegen sich von 26" bis zu kleinen 12" rädern. sehr kleine raddurchmesser ergeben kleine faltmaße, jedoch ein gewöhnungsbedürftiges „quirliges“ fahrverhalten.

sowohl im ersten als auch im zweiten weltkrieg wurden truppen (auch fallschirmjäger) mit falträdern ausgestattet. diese räder besaßen meist einen faltrahmen, nur das pedersen (abb. 83) wurde an den verbindungsstellen geschraubt.



heeresfalträder 61

1962 entwickelte dr. alex moulton ein zerlegbares fahrrad mit kleinen 16" hochdruckreifen.

moulton ließ profirennfahrer mit seinem fahrrad bei rennen quer durch england antreten; dort stellte er unter beweis, daß sein rad trotz der kleinen räder den „echten“ rennrädern nicht nachsteht. das moulton stoneaway war vor allem wegen seines fahrkomforts ein sehr begehrtes rad. federung an vorder- und hinterrad gab es damals bei keinem anderen fahrrad.

moulton verkaufte das konzept an raleigh, die das rad in folge in wesentlich schlechterer qualität bauten und 1977 die produktion einstellten. aufgrund der damaligen „klappradschwemme“ mit sehr billigen, schweren rahmen, schlechten rädern und viel zu kleinen übersetzungen geriet das faltrad in verruf.

seit 1982 werden von moulton wieder räder gebaut, die im high end markt gehandelt werden (abb. 28).



1962 moulton stoneaway 62



es zeigen sich zwei grundverschiedene ansätze beim faltradbau: der eine ansatz legt den schwerpunkt auf das fahren, der andere auf das falten.

bei fernreisen mit dem eigenen rad und dabei erforderlichem radtransport wiegt die faltzeit und faltgröße nicht so schwer. wichtig ist ein stabiles rad mit sehr guten fahreigenschaften.

dieser typ wird von mehreren vorwiegend amerikanischen herstellern angeboten.

die palette reicht von nachrüstbaren biegesteifen rahmenmuffen (s&s machine aus kalifornien) über hersteller, die den transportkoffer bei bedarf gleich mitliefern (bike friday). die zerlege- und transportoption ist eine nebenfunktion.



2008 bikefriday mit koffer 63

der zweite ansatz sieht den einfachen, sauberen transport inklusive faltvorgang im vordergrund, für kurze ergänzungsstrecken ist die fahrqualität nicht so ausschlaggebend.

im stadt- und pendlerverkehr liegt das hauptaugenmerk auf der faltoption; so kommen immer mehr räder mit relativ weichem rahmen und sehr kleinen rädern auf den markt. die übergänge sind meist fließend

im folgenden sind einige exemplarisch aufgeführt und dargestellt:

1970 bickerton, 9kg, relativ weicher rahmen, eigenwilliges steuerverhalten.

brompton seit 1975; 10 – 12 kg

dahon seit 1982, gute fahreigenschaften, 11 kg

birdy seit 1994, 12 kg

klappvorgang über die achsen der federung, sehr gute fahreigenschaften

x-bike 1993

faltet wie eine schere, sehr kleine räder, rahmen zu weich, lediglich prototype (abb. 78)

strida 1995, 9,8 kg

leicht faltbar, sauber verarbeitet, klare linien, nur auf sehr kurzen strecken gut zu fahren

(abb. 76)

zoom bike 1998,

leicht faltbar, gut verarbeitet, antrieb voll gekapselt, relativ langes paket ohne kompakten schmutzbereich. rahmen weich, für lange strecken nicht geeignet.

(abb. 77)

2008 mobiky

sehr schneller faltvorgang, nur für sehr kurze strecken, sehr klein, 13kg

Scoot

Anfang 90er Jahre

Kein Scherzartikel, sondern ein Koffer als Fahrrad und umgekehrt. Sattel, Räder und Lenker werden ausgefahren und die Tretkurbeln angesteckt, fertig ist das Scoot für kurze Strecken (gesäumt von erheiterten Passanten). Weit Tragen geht übrigens auch nicht, das Scoot wiegt nämlich 18 kg.

www.kettenreaktion.at

(abb. 80)



1970 bickerton

64



1975 brompton

65



1994 birdy

66



2008 mobiky

67



2007 grasshopper

68

im bereich der liegeräder sind falträder selten.
es sind zwei modelle auf dem markt:
grasshopper von hp-velotechnik und mcs cruiser II

varianten von zerlegbaren liegerädern findet man häufiger,
z.b. das flevobike, das beim steuerkopfgelenk zerlegbar ist.
(abb. 27)
auch die green machine von flevobike ist in der mitte teilbar.
(abb. 86)



2008 mcs Cruiser II

69

3.2.6 design

im englischen und französischen bedeutet design „gestaltung“ oder „entwurf“, während das italienische disegno (deutsch: zeichnung, plastik) stärker einen erprobenden vorgang betont, ähnlich dem spanischen diseño. im gegensatz zum deutschen sprachgebrauch, der eher auf formal/künstlerische aspekten abzielt und den designbegriff weitgehend verdinglicht, umfasst der angelsächsische begriff design auch technisch-konstruktive anteile der „gestaltung“. im deutschen ist die bezeichnung „design“ als bezeichnung für den prozess des bewussten gestaltens vor allem einer fachszene geläufig. im verlauf der jüngeren designgeschichte wurde er bestandteil des allgemeinen sprachgebrauchs. hier dient er häufig als sammelbegriff für alle bewusst gestalteten aspekten eines realen oder virtuellen objektes, einer dienstleistung oder marke. design wird damit entgegen dem selbstverständnis der designer immer noch als applikation, als „add on“ missverstanden, das vor allem ästhetischen regeln zu folgen habe. tatsächlich ist der designprozess in seiner praxis weitgehend wertneutral. wikipedia

immer wieder haben sich designer über das fahrrad gewagt. oft war das ziel die marktorientierte ausformung des rahmens. weiters wurden und werden fahrräder als sonderedition farblich von designern gestaltet.

auch zugänge über ein neues material für fahrradrahmen und neue geometrien wurden gesucht und gefunden.

räder mit klassischer fahrerposition:

till breitfuß interpretiert in seinem „velo bois“ den kreuzrahmen neu: über stahlseile werden der hölzerne hauptholm des rades mit den stahlteilen sattelrohr / steuerkopfrohr zusammengespannt. über das lösen der seile leicht zerlegbar, besticht der rahmen durch seine einfache eleganz.

biomega aus dänemark lässt von designern fahrräder entwerfen, anfertigen und vertreibt diese im hochpreisigen fahrradsegment. derzeit werden nur räder in der klassischen fahrerposition vertrieben.

das bamboo bike von ted lovegrove verfügt über einen bambusrahmen mit kardantrieb; kardantriebe waren um 1900 bereits im handel. sie hatten aufgrund der hohen drehmomente und kleinen teilkreisdurchmesser enorme zahnkräfte zur folge, was zu hohen reibungskräften und verschleißerscheinungen führte. die gekapselte ausführung des getriebes und das klare design bestechen in verbindung mit dem bambusrahmen, der auch schon 1894 ein renner war....

biomega MN: mark newson entwarf ein rad mit rahmen aus verschweißten blechschalen, ähnlich den mofarahmen der 60er jahre. im gegensatz zu diesen ist der neue rahmen aus aluminium.

karim rashid gestaltete ein rad aus cfk elementen. ähnlich den motorrollern soll unter dem sattel und im rahmen stauraum für gepäck vorhanden sein.

funtom X: slogdesign entwickelt fahrräder, die eher an motocrossmaschinen als an fahrräder erinnern.

cfk-rahmen mit ungewöhnlicher linienführung, vollfederung, ...

spacelander von ben bowden
(abb. 22)



2007 till breitfuß

70



2007 ted lovegrove

71



1894 bamboo bike

72



2007 mark newson

73



2007 karim rashid

74



2001 slogdesign

75



2007 element design 76

bike von element design: carbonrahmen mit neuer linienführung, rückleuchte und vorderleuchte aus led sowie eine integrierte box sind zu einer formalen und funktionalen einheit zusammengefasst. die box, die auch als umhängetasche verwendet werden kann bietet platz für die unentbehrlichen dinge.

falträder mit klassischer fahrerposition



1997 mark sanders 77

strida von mark sanders: kettenfreier antrieb mit keilriemen, ohne STVO ausrüstung, konzipiert und minimiert für fahrwege von bis zu drei kilometern. sehr weicher rahmen aus aluminium und plastik. sehr einfaches handling zum falten, nicht so einfach zu fahren.



1998 richard sapper 78

zoombike von richard sapper: parallelogrammrahmen mit schnellem faltvorgang, klassische fahrposition, gekapselter antrieb, rundtritt, einarmschwinge vorne und hinten.



1992 clive sinclair 79

x-bike von clive sinclair: prototype, 4 kg schwer, zum stock faltbar. schöne optik, gut faltbar, schwer zu lenken (übertragung der lenkbewegung durch das hauptgelenk).



1990 scoot 80

scoot kofferrad
1990, 18kg

liegeräder



1990 jürgen schröder 81

pneumatic cyc von jürgen schröder:
liegeradstudie mit monochoque rahmen cfk

green machine von flevobike:
kurzlieger mit integrierter kettenführung.
cfk rahmen, felgen im thixomoulding aus magnesiumlegierung hergestellt
(abb. 86)

3.3 werkstoffe

3.3.1 leichtbau

schwere räder sind anstrengender zu fahren, aufwändiger zu manövrieren und geben dem fahrer das gefühl nutzlos verschwendeter energie.

ähnlich wie bei den laufrädern stand auch beim fahrradrahmen der leichtbau immer im vordergrund.

die am fahrrad auftretenden kräfte sind nur schwer berechenbar. je nach nutzung als lastenrad mit zuladungen bis 100 kg, als freizeitrad zum dahingleiten auf der donauinsel, als sportgerät mit einer sehr hohen lastwechselzahl und hohen lasten oder als mountainbike mit „tiefen schlaglöchern“ treten verschiedenste belastungen auf. dennoch wird erwartet, dass ein alltagsrad ein begleiter auf allen wegen ist.

hohe lastspitzen wie zum beispiel durch tiefe schlaglöcher werden durch dämpfung und federung vermindert. diese komfortsteigerung durch „weichheit“ bewirkt aber auch einen beim treten empfundenen energieverlust. steifere rahmen ziehen höhere lasten nach sich, setzen aber die eingesetzte energie direkter um.

ein bewährter zugang zu neuen materialien und geometrien ist der vergleich in festigkeit und charakteristik mit bewährten rahmengeometrien, die oft über jahrzehnte im detail empirisch verbessert wurden.

entwicklungsschübe kamen immer mit neuen materialien, die auf die leichtbauqualitäten geprüft und bei bewährung in ihrem jeweiligen einsatzgebiet verwendet wurden.

die ersten laufräder wurden mit auf druck belasteten holzspeichen analog den kutschenrädern hergestellt. um den holzring legte sich ein geschmiedeter bandstahl. um 1875 kamen erste speichenräder mit zugspeichen aus stahl auf den markt. diese wurden über das verdrehen der nabe vorgespannt.

ab 1890 waren überkreuzt eingespeichte räder üblich; ein weiterer fortschritt wurde durch die vulkanisation erreicht: durch das abfangen der spannungsspitzen aus strassenunebenheiten konnten die felgen wesentlich zarter gebaut und der fahrkomfort gesteigert werden.

um 1960 waren noch felgen aus sperrholz für rennräder (geklebte schlauchreifen) in verwendung.

einen weiterenentwicklungsschritt stellten die hohlkammerfelgen aus stranggepresstem aluminium dar.

erst um 1980 gab es wieder versuche mit druckbelasteten speichen aus faserverbundwerkstoffen, um dem laufrad eine bessere aerodynamik bei gleicher steifigkeit zu verleihen.

aktuell werden im radrennsport räder mit wenigen speichen und tropfenförmigen carbonfelgenquerschnitt mit wesentlich höherer steifigkeit eingesetzt, die im gegensatz zu den rädern mit 36 speichen aerodynamische vorteile bieten.

mit bis zu 40 mm felgenhöhe umschließen diese felgen einen sehr großen hohlraum und machen sie extrem verwindungssteif.

die speichenanzahl lässt sich deutlich verringern, was die windschnittigkeit der laufräder optimiert. der luftwiderstand von tropfenfelgen ist gering; die hohe felge deckt den speichenbereich mit der höchsten umlaufgeschwindigkeit ab. die aerodynamisch ungünstigen speichennippel sind teilweise ganz im felgeninneren untergebracht.

im gegensatz dazu entwickelten sich die autoräder nach anfänglicher einspeichung weiter zu stahlfelgen, um die hohen drehmomente übertragen zu können. höheres gewicht wurde durch größere motorenleistung ausgeglichen. erst der anspruch auf höhere beschleunigungswerte oder geringere verbrauchsahlen bewirkte in diesem sektor die entwicklung neuer technologien (leichtmetallfelgen).

analysiert man fahrräder nach den gängigen leichtbaukategorien, kommen überwiegend gerade stabwerke zur ausführung. gekrümmte stabwerke werden bisweilen aufgrund der besseren dämpfungseigenschaften gebaut.

die derzeit leichtesten rahmen werden im zuge der entwicklung hochfester verbundwerkstoffe werden in fasserverbundbauweise gebaut. diese konstruktionen werden bezüglich verwendungszweck und fahrgewicht extrem in ihrer nutzung eingeschränkt: limitierung auf 80 kg zuladung inkl. fahrer, nutzung ausschließlich auf der strasse.

3.3.2 material

die materialien für den fahrradbau wurden aus dem kutschenbau übernommen:

holz für die tragenden teile und metallverbindungen, um die hölzer zu fügen.

die probleme des holzrahmens – verziehen bei sich ändernden feuchtebedingungen – sowie die entwicklung effizienterer eisen-verarbeitungsmethoden zur erzeugung von stahl (1850 bis 1880: bessemer verfahren, thomas verfahren, siemens martin verfahren) verdrängten das holz als rahmenmaterial, teurere rahmen wurden aus stahl gebaut.

entwicklungsschübe kamen immer aus der erprobung neuer materialien; oft wurden auch die risiken der neuen materialien unterschätzt, was in den letzten jahrzehnten des öfteren zum bruch von faserverstärkten rahmen führte.

holz

aus holz wurden die ersten räder gebaut.

anfangs wagnermäßig, gibt es auch viele ausführungen in bambus und in schichtverleimten hölzern. immer ist ein verbund mit metallteilen erforderlich; dies geschieht entweder durch muffung (bambus), durch verklebung (jano) oder durch einspannung (breitfuss).

aufgrund der witterungsanfälligkeit (feuchteempfindlichkeit) muss die holzoberfläche möglichst diffusionsdicht verschlossen werden. durch die ausführung in hochwertigen sperrhölzern können materialschwächen ausgeglichen werden und so ein gleichmäßiger hochwertiger werkstoff geschaffen werden.

die hochtechnisierte ausführung schmälert die ausgezeichnete ökobilanz dieses werkstoffes.



1818 draisine holz

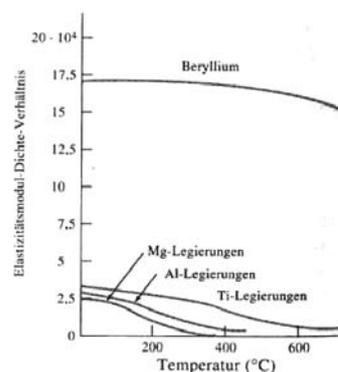
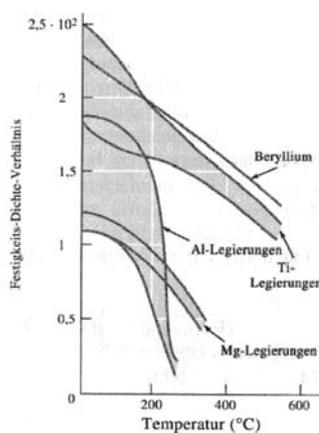
81



2007 jano plybike

82

| metalle | einheiten | stahl | aluminium | titan | beryllium | magnesium |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------|-----------|-------|-----------|-----------|
| dichte | g / cm ⁻³ | 7.9 | 2.7 | 4.5 | 1.85 | 1.75 |
| schmelzpunkt | °C | 1530 | 660 | 1668 | 1284 | 650 |
| e-modul | GPa | 210 | 67 | 110 | 316 | 45 |
| max. festigkeit | MPa | 3000 | 500 | 1300 | >1000 | 300 |
| thermische leitfähigkeit | W m ⁻¹ K ⁻¹ | 67 | 220 | 18 | 180 | 100 |
| thermischer ausdehnungskoeff. | 10 ⁻⁶ K ⁻¹ | 12 | 23 | 8,5 | 11,6 | 25,2 |
| produktionsmenge | t/Jahr | 800mio | 20 mio | 50000 | 300 | 300000 |
| prels | €/kg (2007) | ~0,7 | 3,18 | 25-50 | 478-630 | 6,3 |





1902 pederson

83

stahl

stahl ist der wohl am weitesten verbreitete werkstoff und ist in sehr vielen verschiedenen legierungen erhältlich. im rahmenbau werden chrom-molybdän legierungen, selten rostfreie stähle. chrom-molybdän stahl ist ein zäher vergütungsstahl mit einem e-modul von 210 kN/mm² und für den rahmenbau gut geeignet. eine gefahr für stahlrahmen ist eine zu geringe rohrwandstärke. sie sollte auf jeden fall bei einem rohrdurchmesser von 30mm über 0,5mm liegen. ein sehr dünnes rohr ist für den normalen fahrbetrieb ausreichend steif und fest, die gefahr des ausbeulens bei stürzen oder der dellenbildung im alltagsbetrieb steigt jedoch an. das langsame reißen von stahl ist ein weiterer vorteil. selbst mit einem eingerissenen oberrohr kann man bedingt weiterfahren.

stahl ist außerdem sehr leicht zu verarbeiten. er läßt sich löten und schweißen, selbst kleben ist möglich. durch die langjährigen erfahrungen der hersteller ist es auch möglich exotische rohrformen wie konifizieren, endverstärken, spiralig verstärken etc. herzustellen.

vorteile

hohe festigkeit, hoher e-modul, sehr zäh, leicht zu verarbeiten, billiger rohstoff, einfach rezyklierbar

nachteile

hohe dichte, korrosionsschutz notwendig, durch die hohe festigkeit werden sehr geringe wandstärken hergestellt, gefahr des beulens

aluminium

aluminium wird in den letzten jahren verstärkt im rahmenbau eingesetzt. nach anfangsschwierigkeiten ist jetzt eine hohe perfektion erreicht worden. auch endverstärkte alu-rohre werden bereits verwendet. aluminiumlegierungen besitzen ca. 1/3 der festigkeit von stahl, einen e-modul von 73 kN/mm², bei etwas unter einem drittel der dichte von stahl. aufgrund der geringeren festigkeit werden alurahmen mit größeren rohrdurchmessern verarbeitet, ohne stabilitätsprobleme durch zu dünne blechstärken zu erzeugen. dadurch ergeben sich steifere rahmen, die zu höheren spannungsspitzen führen. als schweißverfahren wird wig-schweißen eingesetzt. schlechte schweißnähte (versprödung, bindefehler) sind die häufigsten fehlerquellen bei alurahmen. aluminium muß auch gegen korrosion geschützt werden.

vorteile

geringe dichte, einfach zu rezyklieren

nachteile

etwas schwieriger zu verarbeiten als stahl, korrosionsschutz notwendig, bei herstellung viel energie notwendig, durch die geringere bruchdehnung rissgefährdet



2007 ixy bike

84

titan

titan scheint das ultimative rahmenmaterial zu sein. titan ist absolut korrosionsbeständig, manche titanlegierungen sind hochfest. es werden höhere festigkeiten als bei den im rahmenbau verwendeten stählen erreicht.

titan ist teuer und benötigt bei der herstellung sehr viel energie. es hat eine geringere dichte als stahl, der e-modul ist mit 105kN/mm^2 nur halb so groß wie der von stahl. durch größere rohrdimensionen lässt sich die steifigkeit erhöhen.

titan ist außerordentlich schwer zu verarbeiten. das konifizieren von titanrohren ist möglich, aber aufwendig. die endverstärkung von rohren wird aus kostengründen oft unterlassen. weitere probleme stellen die mechanische bearbeitung und das schweißen von titan dar. aufgrund der hohen reaktionsfreudigkeit des metalles mit dem luftsauerstoff ist schweißen nur in vakuum- oder edelgaskabinen möglich.

vorteile

hohe festigkeit, geringe dichte, absolut korrosionsbeständig, optisch ohne beschichtung ansprechend

nachteile

teuer, schwer verarbeitbar, geringerer e-modul sollte durch konstruktion ausgeglichen werden, benötigt bei der herstellung viel energie

magnesium

magnesium wird im fahrradbau immer in legierung mit aluminium eingesetzt. durch die hohe sprödigkeit des materials ist walzen oder das herstellen von rohren nicht möglich.

gussteile werden vereinzelt eingesetzt.

über thixomoulding ist es seit einigen jahren auch möglich, besonders dünnwandige bauteile zu gießen.

aufgrund der hohen korrosionsanfälligkeit ist eine beschichtung erforderlich.

vorteile

geringe dichte, etwas billiger als aluminiumlegierungen

nachteile

sehr spröde, nicht zu rohren verarbeitbar (nur gießen möglich), nicht schweißbar, gegen korrosion sehr empfindlich

beryllium

ein hochgiftiger werkstoff, was sowohl die verarbeitung verteuert als auch eine sehr gute oberflächenbehandlung erforderlich macht.

ein sehr teures, schwer zu verarbeitendes material mit einem e-modul von 310 kN/mm^2 .

theoretisch wären sehr steife, leichte rahmen möglich. es ist noch nicht schweißbar (meist in aluminiummuffen verklebt). aus kosten- und verarbeitungsgründen wird in dem preissegment meist dem carbonrahmen der vorzug gegeben.

vorteile

sehr leicht, hoher e-modul, gute festigkeit,

nachteile

sehr teuer, toxisch, schwer zu verarbeiten



2008 titanrahmen mit alu-muffen

85



2007 green machine mg-felgen

86



2008 cervelo K01

87

faserverbundwerkstoffe

faserverbundwerkstoffe bestehen aus in längsrichtung hochfesten fasern („ein werkstoff in faserform hat in faserrichtung eine vielfach größere festigkeit als dasselbe material in anderer form. je dünner die faser ist, desto größer ist ihre festigkeit“ griffith 1920), die in einen verbundwerkstoff (matrix) eingebettet werden.

wichtig ist die gute abstimmung der komponenten aufeinander sowie der verbund zwischen faser und matrix.

verwendete fasermaterialien sind glasfasern, carbonfasern und aramidfasern.

im fahrradbereich verwendete matrixmaterialien sind epoxydharze.

die aufgaben der komponenten sind wie folgt verteilt:

die matrix gibt dem faserverbundwerkstoff sein aussehen. sowohl der farbe als auch der oberflächenstruktur sind wenig grenzen gesetzt.

in mechanischer hinsicht muss sie die verstärkenden fasern in ihrer position halten und die spannungen zwischen ihnen übertragen und verteilen. in bezug auf die dauerhaftigkeit hat sie die aufgabe, die fasern vor äußeren mechanischen und chemischen einflüssen zu schützen.

die fasern geben dem faserverbundwerkstoff die notwendige festigkeit. neben der zugfestigkeit kann, falls der werkstoff auf druck beansprucht wird, auch die biegefestigkeit eine rolle spielen.



1994 mike borrows

88

die grenzschicht dient der spannungsübertragung zwischen den beiden komponenten. sie überträgt ausschließlich schub und kann sehr abstrakte formen annehmen wenn der schub beispielsweise über reine reibung erfolgt. in anderen fällen jedoch, beispielsweise bei schub über klebehaftung, ist sie herstellungstechnisch gewollt und physisch vorhanden. im letzteren fall werden die fasern vor dem ersten kontakt mit der matrix mit einem kopplungsmittel beschichtet, das chemisch mit beiden komponenten reagieren kann und einen möglichst ununterbrochenen übergang garantiert.

ein wichtiger faktor bei der bemessung von faserverbundwerkstoffen ist das volumenverhältnis zwischen fasern und matrix. je höher der anteil an fasern ist, desto fester, jedoch auch starrer und spröder wird der werkstoff. dies kann zu problemen führen, wenn gewisse verformungen überschritten werden.

carbonfasern

carbonfasern sind in verschiedensten ausführungen und qualitäten erhältlich. im rahmenbau werden oft niedrigere qualitätsklassen verwendet, hochfeste carbonfasern erweisen sich mit ca. 300 euro/kg als zu teuer. normalfeste carbonfasern sind durch die geringe dichte noch immer attraktiv. carbonfasern sind sehr spröd, weshalb aramidfasern (=kevlar®) beigefügt werden, die eine größere bruchdehnung besitzen, und daher nicht sofort brechen.

vorteile

sehr fest, steif, leicht, attraktive optik

nachteile

sehr spröde, teuer, schwierig zu verarbeiten, schwierig zu dimensionieren

aramidfasern

aramidfasern werden den carbonfasern beigemischt, um die bruch- und schlagfestigkeit des bauteils zu erhöhen. aramidfasern sind an ihrer gelben farbe erkennbar.

als rahmenmaterial sind diese fasern aufgrund ihres preis/festigkeitsverhältnisses nicht sehr attraktiv.

die beschriebenen werkstoffe können über bezogene werkstoffeigenschaften verglichen werden, wie in nachstehenden tabellen ersichtlich wird:

| Werkstoff | $\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]$ | E [MPa] | R_m [MPa] | $\frac{1}{\rho} \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{kg}} \right]$ | $\frac{E}{(g \cdot \rho)}$ [km] | $\frac{R_m}{(g \cdot \rho)}$ [km] |
|----------------|---|---------|-------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| Stahl | 7,85 | 210.000 | 500 | 0,1274 | 2.675,16 | 6,37 |
| Al-Legierung | 2,70 | 70.000 | 350 | 0,3700 | 2.592,60 | 12,95 |
| Mg-Legierung | 1,74 | 40.000 | 330 | 0,5750 | 2.298,85 | 18,96 |
| Ti-Legierung | 4,50 | 102.000 | 900 | 0,222 | 2.266,67 | 20,00 |
| PA 6 (trocken) | 1,15 | 2.500 | 80 | 0,8690 | 217,40 | 6,96 |
| GFK-UD (50 %) | 2,25 | 39.000 | 1.150 | 0,4444 | 1.766,90 | 52,10 |
| CFK-UD (50 %) | 1,50 | 120.000 | 1.700 | 0,6667 | 8.155,88 | 115,53 |
| AFK-UD (50 %) | 1,32 | 31.000 | 1.250 | 0,7576 | 2.393,97 | 96,53 |
| Holz | 0,50 | 12.000 | 100 | 2,0000 | 2.400,00 | 20,00 |
| Beryllium | 1,85 | 245.000 | 400 | 0,54 | 13.243,24 | 21,62 |
| Lithium | 0,53 | 12.000 | 180 | 1,89 | 22.641,51 | 33,96 |

wertung typischer leichtbauwerkstoffe unter zugbeanspruchung
 tabelle aus: bernd klein: leichtbaukonstruktion
 6. auflage 2005 vieweg verlag wiesbaden

aus der dichte ρ , dem elastizitätsmodul E und der bruchspannung R_m , werden folgende kenngrößen abgeleitet:

das **spezifische volumen** $1/\rho$, mit dem unabhängig von mechanischen eigenschaften das eingenommene volumen eines bauteils dargestellt wird.

die **spezifische steifigkeit** $\frac{E}{\rho \cdot g}$ definiert eine bezogene längensteifigkeit bzw. eine bezogene schubsteifigkeit. dies ist ein maß für die eintretende deformation.

die **reißlänge** $\frac{R_m}{g \cdot \rho}$ quantifiziert, bei welcher länge ein aufgehängter faden durch sein eigengewicht reißt.

aus der tabelle ist die überlegenheit der unidirektionalen kohlefaserwerkstoffe in bezug auf leichtbauqualitäten abzulesen.

ergänzend können noch die gütekennzahlen der verschiedenen leichtbauwerkstoffe genannt werden.

die normierte gütezahl gibt an, um wieviel leichter (oder schwerer) eine geometrisch ähnliche konstruktion aus dem betrachteten werkstoff ist, verglichen mit jener aus dem gewählten bezugswerkstoff. insofern ist eine sehr gute zuordnung bestimmter bewertungscharakteristika zu einzelnen werkstoffen möglich.

| Eigenschaften bezüglich | Gütekennzahl | HOLZ | Mg-Leg. | Al-Leg. | Ti-Leg. | STAHL | GFK | CFK | AFK |
|---|-------------------------------------|------|---------|---------|---------|-------|------|------|-------|
| stat. Festigkeit - Zug, Druck | $[R_m/(g \cdot \rho)]$ | 1,54 | 1,46 | 1 | 1,54 | 0,49 | 3,17 | 5,52 | 8,58 |
| Längssteifigkeit - Zug, Druck | $[E/(g \cdot \rho)]$ | 0,93 | 0,89 | 1 | 0,87 | 1,03 | 0,79 | 6,88 | 1,86 |
| Schubsteifigkeit - Torsion | $[G/(g \cdot \rho)]$ | - | 0,90 | 1 | 0,89 | 1,06 | 0,32 | 0,37 | 0,15 |
| Knicksteifigkeit von Stäben | $[\sqrt{E}/(g \cdot \rho)]$ | 2,24 | 1,17 | 1 | 0,72 | 0,60 | 1,05 | 3,64 | 1,93 |
| Beulsteifigkeit und Biegesteifigkeit von Platten | $[\sqrt[3]{E}/(g \cdot \rho)]$ | 3,05 | 1,31 | 1 | 0,69 | 0,50 | 1,17 | 3,00 | 1,98 |
| elastisches Arbeitsaufnahmevermögen | $[\frac{\sigma^2 \text{ prop}}{E}]$ | 0,47 | 1,55 | 1 | 4,54 | 0,68 | 9,14 | 2,29 | 19,78 |
| Schlagzähigkeit | [A] | 0,20 | 2,50 | 1 | 1,50 | 2,50 | 0,75 | 0,20 | 0,20 |
| Schwingfestigkeit t R = -1 N = 10 ⁶ | $[\sigma_{bw}/(g \cdot \rho)]$ | 1,20 | 1,20 | 1 | 2,20 | 1,30 | 1,70 | 2,80 | 3,20 |

*gütekennzahlen zur beurteilung der leichtbaueignung einiger typischer konstruktionswerkstoffe bezogen auf aluminium
tabelle aus: Bernd Klein: Leichtbaukonstruktion
6. Auflage 2005 Vieweg Verlag Wiesbaden*

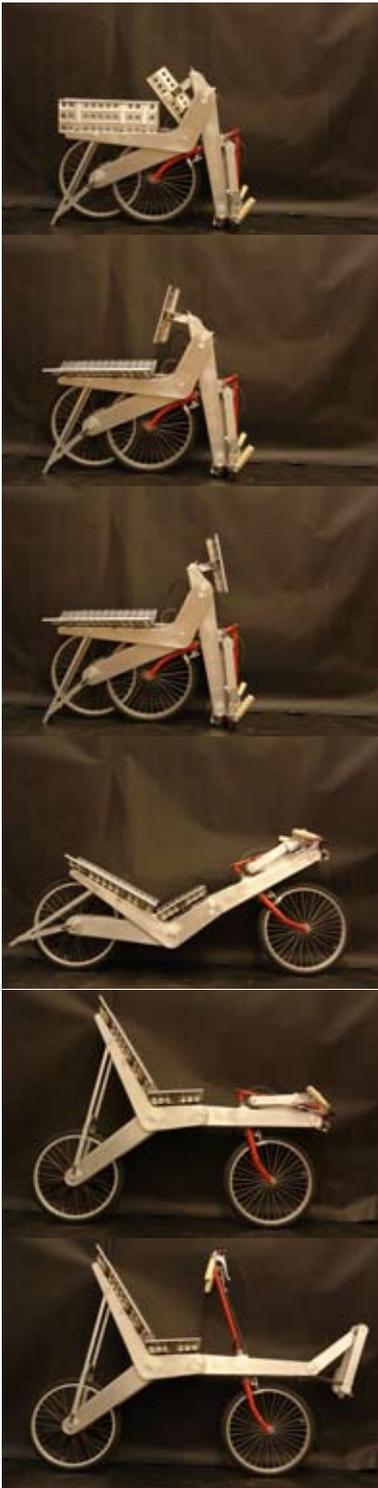
4 projekt

4.1 entwurfsziele

entwurfsziel ist ein klappbares und bequemes rad für den stadtgebrauch.
in zwei positionen verstellbare rahmengeometrie zur optimierung auf den jeweiligen einsatzbereich.

basierend auf vorhergegangene studien werden die für den entwurf relevanten thesen definiert:

liegeräder sind auf der strasse die „besseren“ fahrräder.
liegeräder sind in der stadt aufgrund der größeren platzverbrauches problematisch.
klappräder sind im stadtgebiet von vorteil und entsprechen den erfordernissen zur einfachen mitnahme in anderen verkehrsmitteln.
durch die aufrechte sitzposition werden verspannungen im nackenbereich vermieden
die nachteile der liegeräder im stadtverkehr können bei entsprechender körperposition vermieden werden.
über den vorderradantrieb sind wesentlich kürzere kraftwege zu realisieren, die lange, schmutzgefährdende kette entfällt.
das klappbare liegerad ist durch den vorderradantrieb konstruktiv einfacher zu realisieren.



4.2 fahrstuhl

während meines architekturstudiums entwickelte ich im zuge des entwurfsprogrammes „mobiles möbel“ einen prototypen namens fahrstuhl.

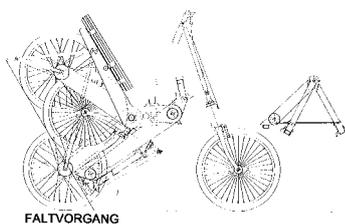
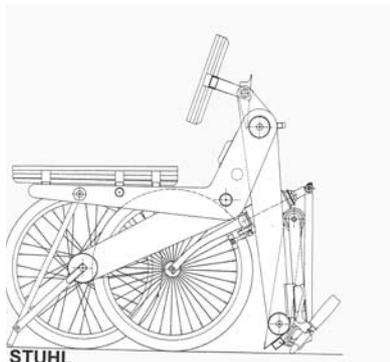
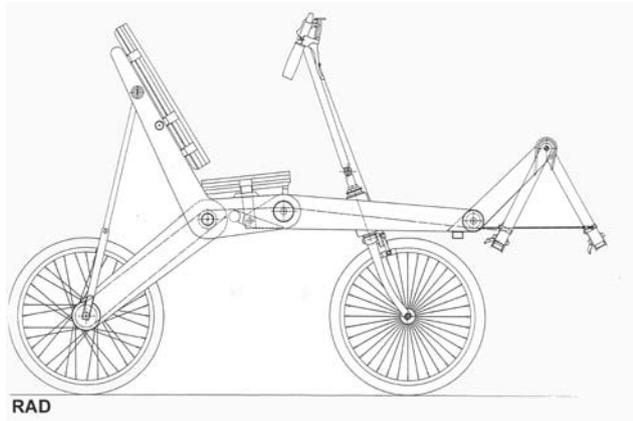
gebaut aus gekanteten aluminiumblech, welches zu hohlkastenträgern verklebt wurde. an den gelenkpunkten wurden muffen eingeklebt.

dieses möbel ermöglichte es durch diverse klappvorgänge als stuhl oder als fahrrad zu fungieren.

zusammengeklappt lässt es sich platzsparend verstauen.

nach nunmehr zwölfjähriger distanz zu diesem projekt komme ich zu folgenden ergebnissen:

- bei den im rahmen integrierten seile des antriebs zeigen sich verschleißerscheinungen. die seile spleissen auf. der antrieb lärmt beim treten. eine umstellung auf hochwertige riemen könnte abhilfe schaffen.
- der alurahmen im bereich der pedalaufhängung ist zu weich, vor allem beim tritt mit voller kraft in die pedale.
- die pedalbahn ist nicht optimal. im unteren totpunkt kann die kraft nicht effizient eingesetzt werden.
- die kettenlose ausführung ist in jedem fall ein großer vorteil. verschmutzungsängste gehen verloren.
- die stuhlfunktion wird sehr selten gebraucht.
- aufgrund der klappmöglichkeit wird das rad immer im wohnbereich aufbewahrt
- die federung erfüllt ihren zweck gut.
- bei einer fahrt rutschte aufgrund der schmalen reifenprofile das vorderrad in ein kanalgitter und die gabel wurde nach hinten gebogen. aufgrund des tiefliegenden schwerpunktes bestand keine gefahr des überschlagens.
- nachteilig ist das erforderliche übersteigen des rahmens beim aufsitzen im relativ schmalen bereich zwischen hochgeklappten lenker und lehne.



4.3 vorstudie

- ziel ist die grundlegende erarbeitung von parametern zur rahmen- und zur antriebsgeometrie.
- der sitz ist in neigung und höhe verstellbar.
- der steuerkopfwinkel ist verstellbar.
- verschiedene pedalpositionen sind möglich
- verschiedene pedalkurven (erst nach umbau)
- über unterschiedliche hebelangriffslängen sind verschiedene entfaltungen einstellbar.

die vorstudie wird mit einfachsten mitteln aus stahlformrohren, teile eines alten klapppradrahmens und drehteilen aufgebaut. die klappfunktion wird nur zur verstellung der rahmengenometrie (position hoch/tief) eingesetzt.

der antrieb wird zur größeren flexibilität mithilfe eines zwischengetriebes gelöst. dieses beinhaltet zwei freiläufe mit rückholfedern und ein kettenrad zum antrieb des vorderrades.

mithilfe der angelegten entfaltungstabelle werden mögliche übersetzungen festgelegt. die entfaltung legt fest, welche strecke mit einer pedalumdrehung (einem pendelhub) zurückgelegt wird.

aus steuerkopflager und vorlauf ergibt sich auch die pedalgeometrie.

die pedale werden über ein seil und eine umlenkrolle gekoppelt (rückholfunktion). in der vorstudie wird kein koppelgetriebe analog der studie deutschmann eingebaut.

steuerkopfwinkel und vorlauf werden mangels anderer anhaltspunkte vorerst ähnlich dem flevobike aufgebaut. bei diesem rad ist nach ausreichender übung das lenken nur mit den pedalen möglich. bei geschwindigkeiten ab 40 km/h ist es jedoch nur mehr schwer in der spur zu halten.

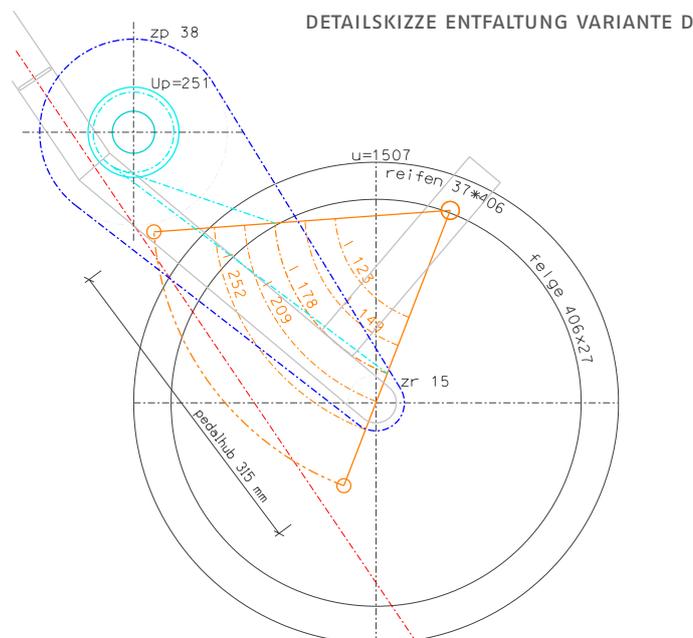
gegenüber dem flevobike erscheint mir die pedalanordnung nahe der steuerkopfachse ein vorteil zu sein.

festlegung und überprüfung der entfaltung:

bei einer trittfrequenz von ca. 60/min erzielt man mit einer entfaltung von 5 m eine geschwindigkeit von 18 km/h.



03/2008 tiefgestellte position , pedale umgedreht (tritt vorne nach unten), mit schalensitz.

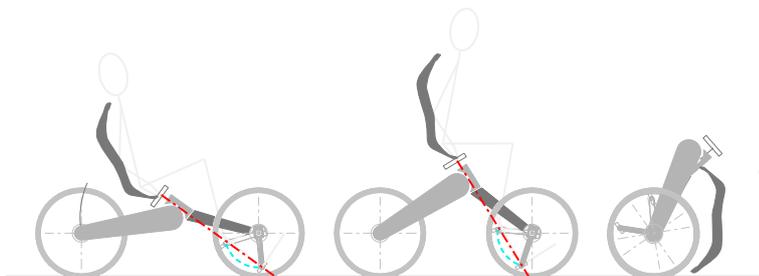


| | l | Dp | U p | z p | z r | U rad | entfaltung [m] |
|---|-----|----|-----|-----|-----|-------|----------------|
| 1 | 252 | 80 | 251 | 38 | 15 | 1507 | 7,67 |
| 2 | 208 | 80 | 251 | 38 | 15 | 1507 | 6,33 |
| 3 | 178 | 80 | 251 | 38 | 15 | 1507 | 5,41 |
| 4 | 149 | 80 | 251 | 38 | 15 | 1507 | 4,53 |
| 5 | 123 | 80 | 251 | 38 | 15 | 1507 | 3,74 |

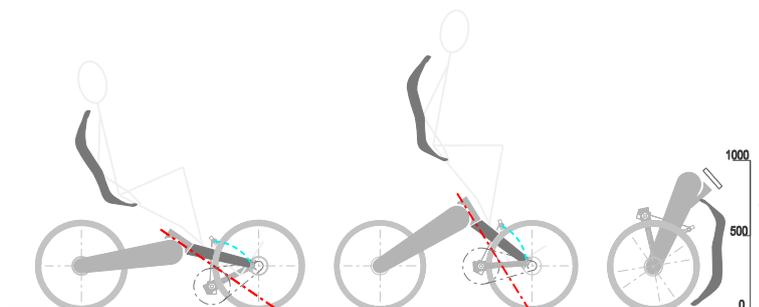
aus dem gedanken der möglichst geringen beeinflussung der lenkung durch das pedalieren werden die kraftangriffspunkte (pedale) möglichst nah an die steuernachse gelegt (kurzer hebelarm) und die kraftangriffsrichtung parallel zur steuernachse (hauptkraftkomponente erzeugt kein drehmoment). die pedale treiben mit freiläufen die antriebswelle an.

vier varianten zur ausbildung des vorderradantriebes:

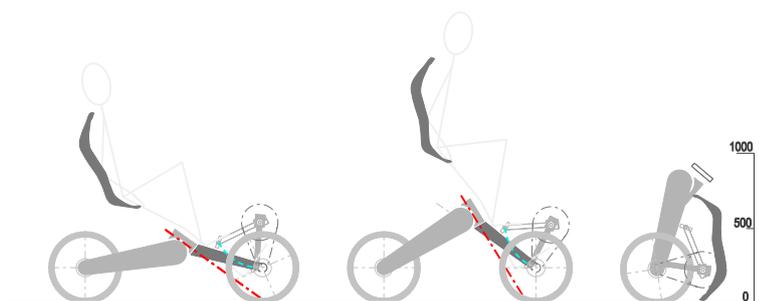
a) tretlager in vorderradnabe:
 blendet man die schwierigkeiten der getriebeausführung in der vorderradnabe aus, zeigt sich eine klare, einfache geometrie. eckpunkte ergeben sich aus dem mindestraddurchmesser (gezeichnet 24") um beim treten nicht mit den fersen am boden aufzusetzen. die kröpfung der gabel ergibt sich zwingend aus der pedallänge, dadurch definieren sich vorlauf und steuernachswinkel.



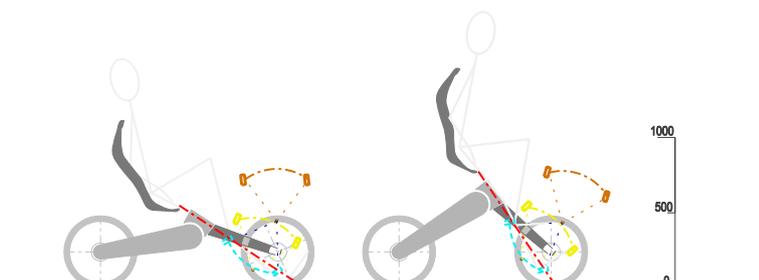
b) tretlager hinter vorderradnabe:
 um die pedale an die steuernachse legen zu können, müsste das pedallager sehr weit nach hinten geschoben werden, was zu problemen mit der bodenfreiheit in der liegeposition führt. die kurbelrichtung nach vorne entspricht der vom runden tritt eingeübten pedalkurve.



c) tretlager über vorderradnabe:
 um die pedale an die steuernachse legen zu können, müssten sehr lange kurbeln verwendet werden, wodurch ein kleiner drehwinkel bei einem pedalhub von ca. 34 cm erzielt werden könnte. legt man das lager noch weiter nach hinten, muss man den sitz entsprechend nach hinten bzw. oben verschieben. pedalkurve parallel zur steuernachse.



d) tretlager in fläche vorderrad:
 die ausführung mit einer durchgehenden kurbelachse ist nicht mehr möglich. anstelle wird ein zwischenge triebe aufgebaut, über welches verschiedene pedalpositionen möglich werden. die drei positionen können an der vorstudie erprobt werden.



gebaut wurde variante d, da die größtmögliche variabilität im bereich der antriebspedale machbar ist.

das zwischengetriebe mit zwei freiläufen und riemenscheiben wird vorne an der gabel positioniert.

im laufe der ersten testfahrten stellt sich das rad als nur schwer manövrierbar heraus. die an der vordergabel angeschweißten großen massen erschweren die manövrierbarkeit und das handling (kopflastig). weiters erzeugen sie ein drehmoment, das den lenker zur seite kippen lässt. dieses auslenkmoment kann durch den einbau eines lenkungsdämpfers kompensiert werden, wodurch das rad steuerbar wird.

nach umarbeiten der pedale in die alternativposition ist das rad noch leichter zu kontrollieren. die beeinflussungen durch den antrieb haben durch den nunmehr größeren hebelarm einen geringeren lenkausschlag zur folge.

das rad ist bei geringen geschwindigkeiten in beiden positionen fahrbar. die flache position erweist sich durch den größeren nachlauf als einfacher zu fahren und stabiler.

unklar ist, ob das ausbrechen beim fahren durch die geometrie des knicklenkers verursacht wird oder wegen der großen massen vor der steuerkopfachse.

ein versuch mit größerem nachlauf und flacherem steuerkopfwinkel bringt keine verbesserungen.



12/2007 hochgestellte position, pedale unmittelbar neben der steuerkopfachse



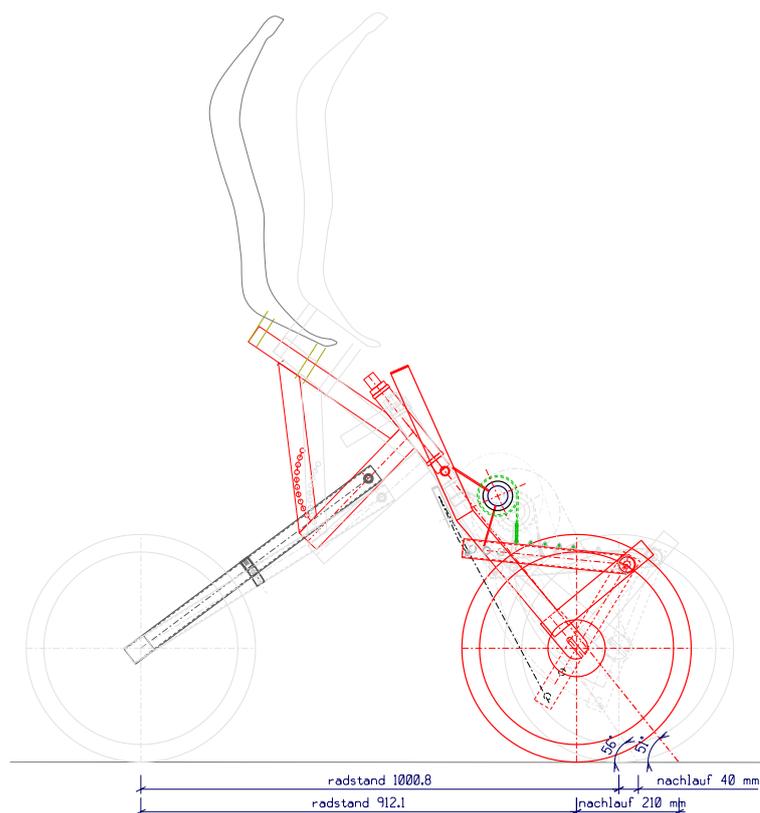
12/2007 erste fahrversuche in der hochgestellten position; fahrgefühl ähnlich einrad. der zufall gibt den kurs vor.



12/2007 relativ tiefgestellt; noch tiefere position nicht fahrbar. lenkungsdämpfer noch nicht montiert. .



12/2007 relativ tiefgestellt; noch tiefere position nicht fahrbar. lenkungsdämpfer noch nicht montiert. .



grau: standard geometrie hochgestellt
rot: adaptierte geometrie hochgestellt

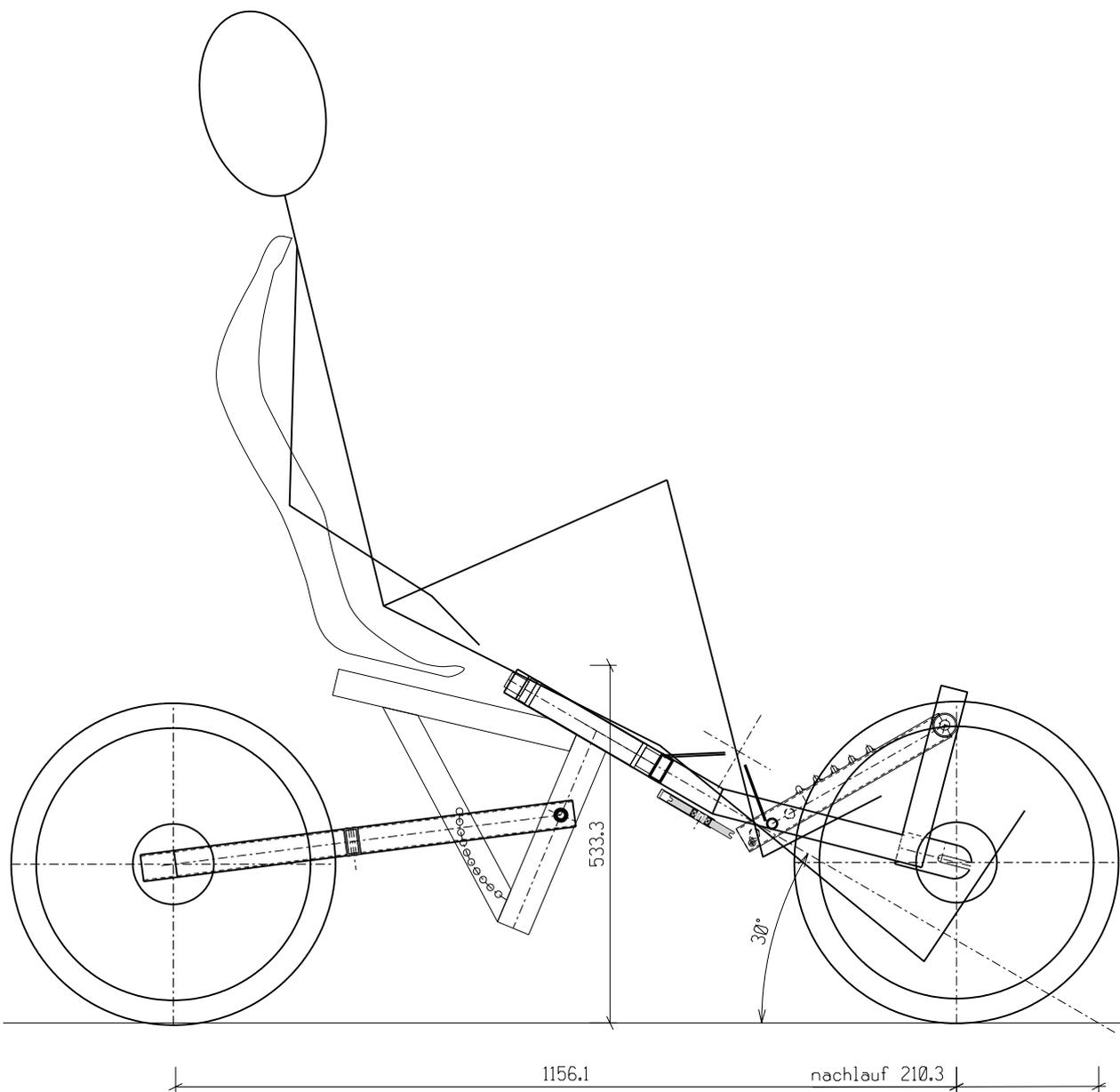
der pendelantrieb ist – aufgrund der überdimensionierung der bauteile – entgegen dem „fahrstuhl“ nun voll belastbar. der in der literatur bisweilen erwähnte umkehrpunkt stellt sich als bewegungshemmend dar. ein gleichmäßiges treten ist nur schwer zu erzielen, kann aber vielleicht antrainiert werden.

laut aussage heinz deutschmann (siehe 3.2.3) wurden an seinem ergometer mit gleitender bewegungsablöse (wechselzuggetriebe) höhere leistungen erzielt als am reinen pendelantrieb.

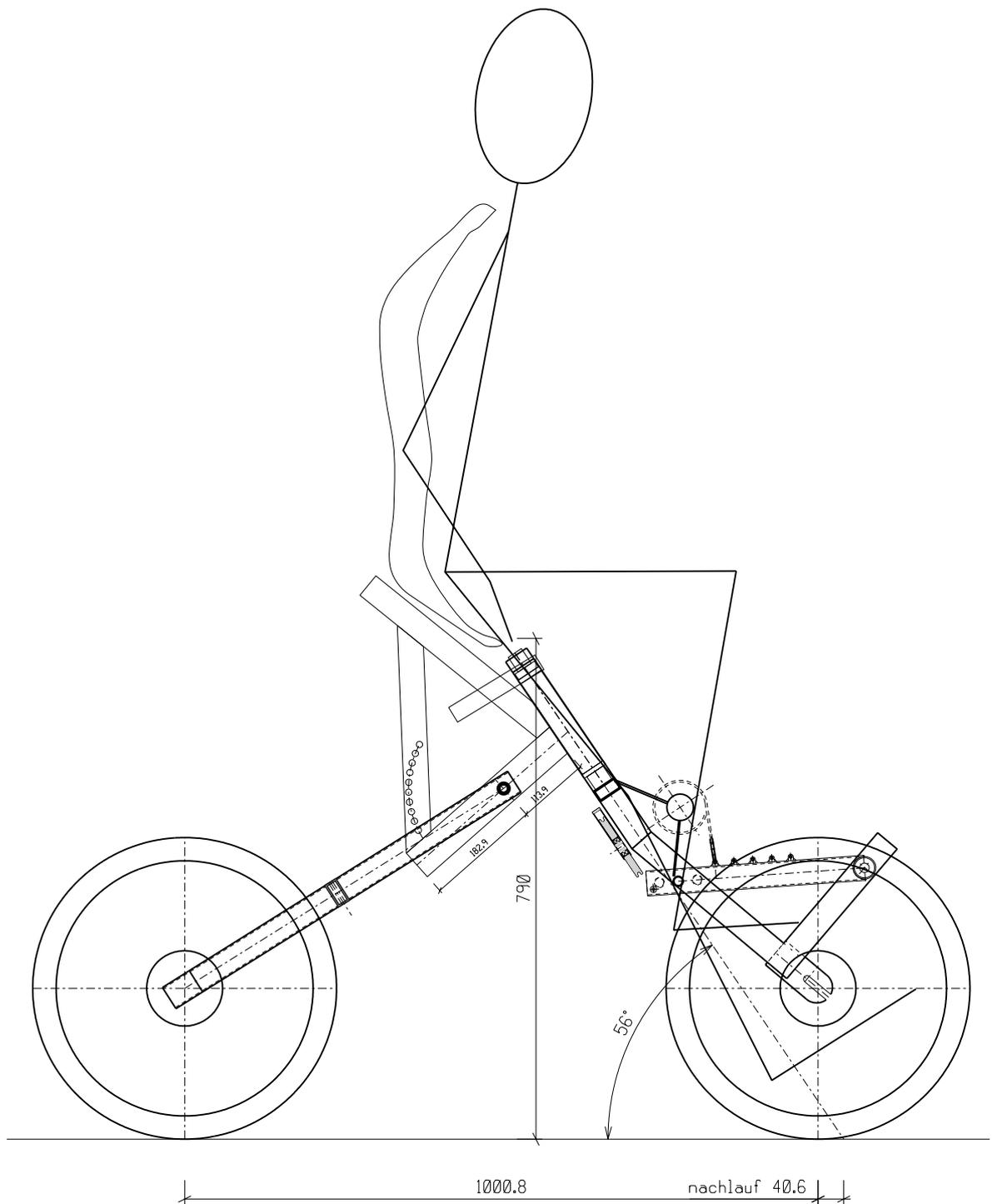
mithilfe eines koppelgetriebes und einer pedalkurve ähnlich dem antrieb von pawlik müsste der beste bewegungsablauf erreichbar sein.

für ein versuchsfahrzeug steht mir leider keine nabe mit dem erforderlichen zwischengetriebe zur verfügung, um bei einem derartigen antrieb die erforderliche entfaltung zu erreichen.

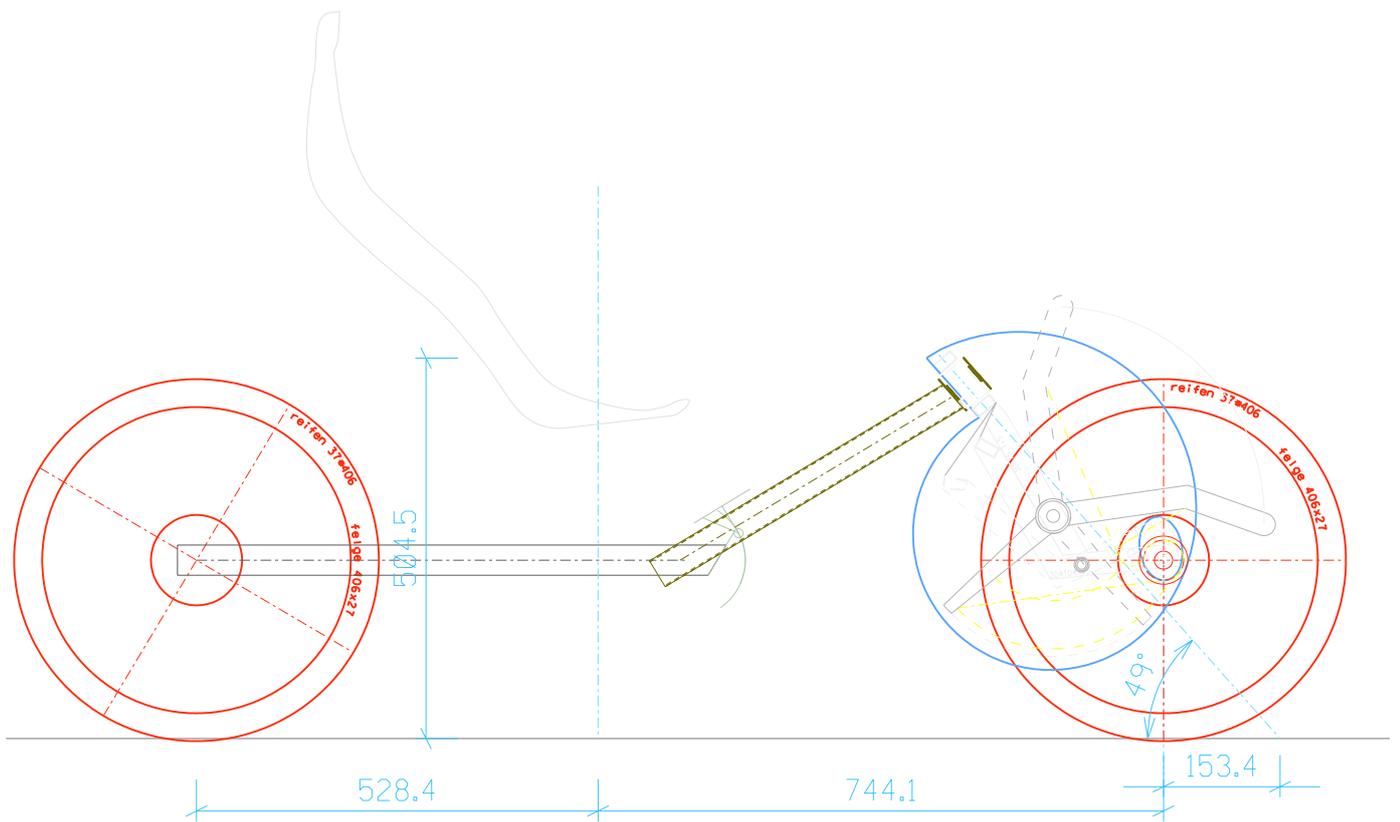
nach dem ich 30 km gefahren bin und das rad immer noch zum ausbrechen neigt, beschließe ich, eine zweite vorstudie ohne knicklenkergeometrie als vergleichsgeometrie zu bauen.

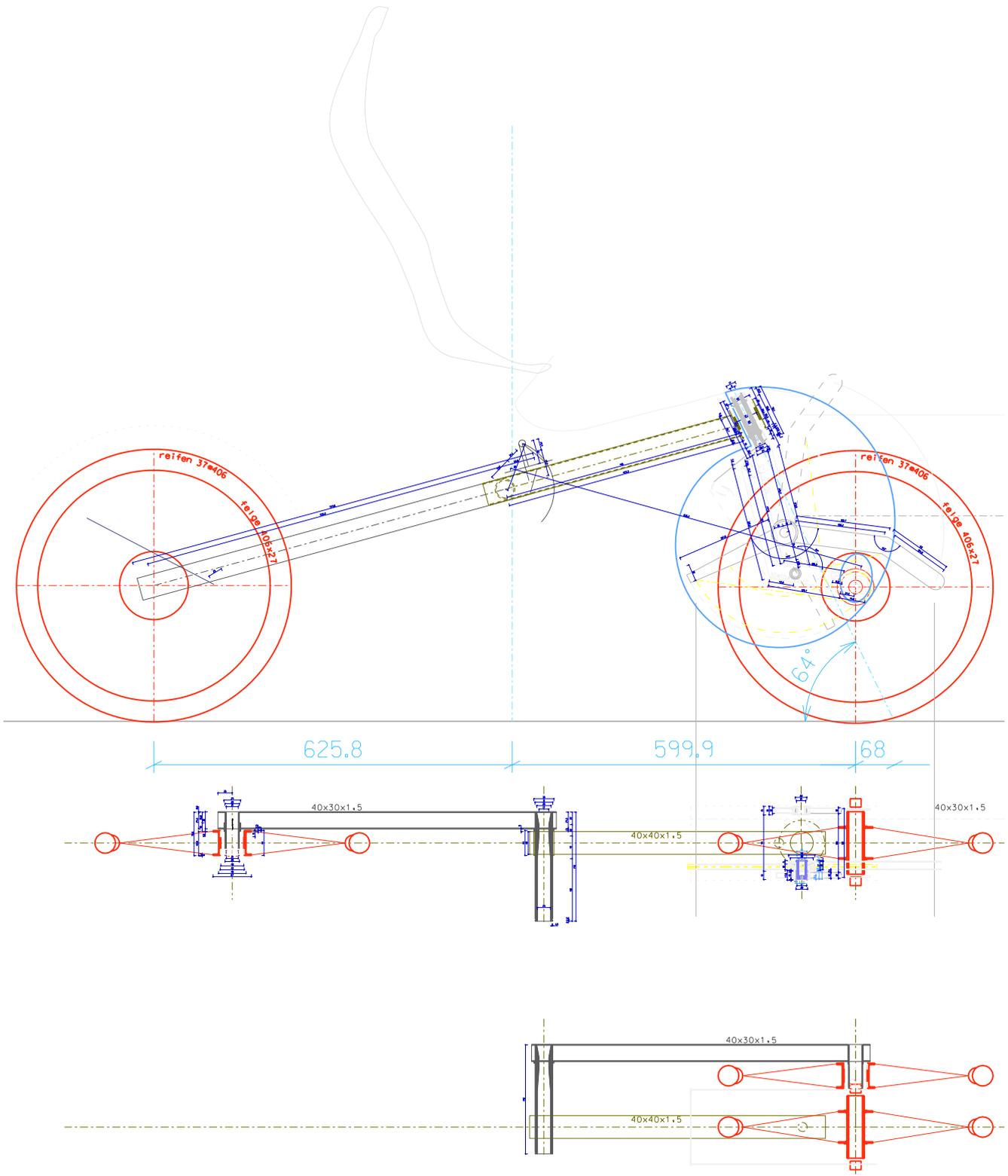


geometrie vorstudie 1 flach

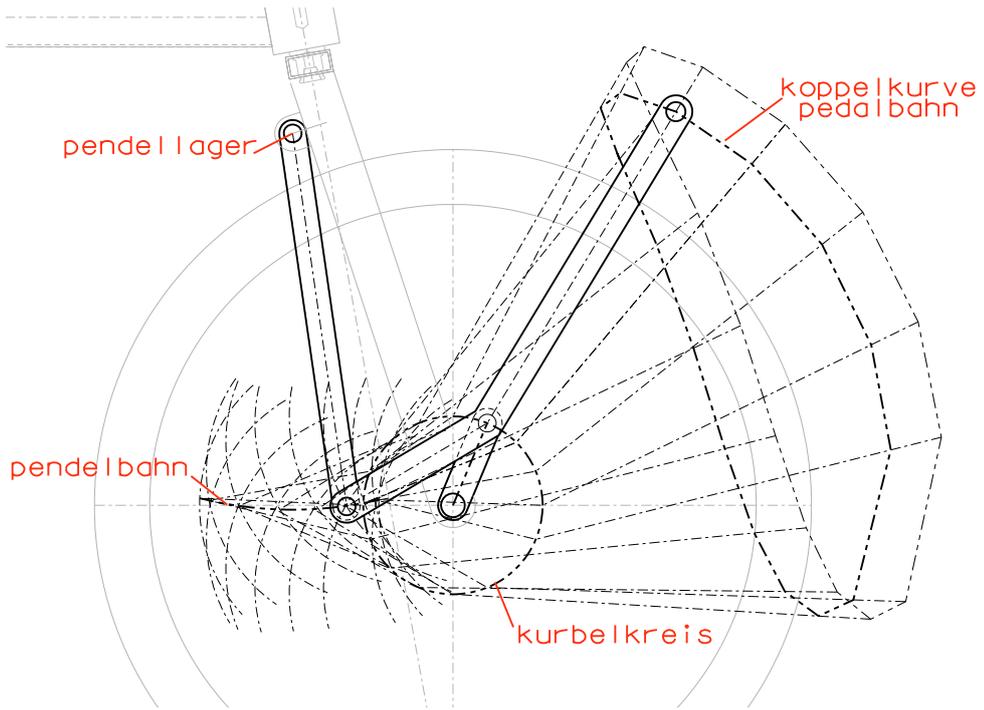


geometrie vorstudie 1 hoch



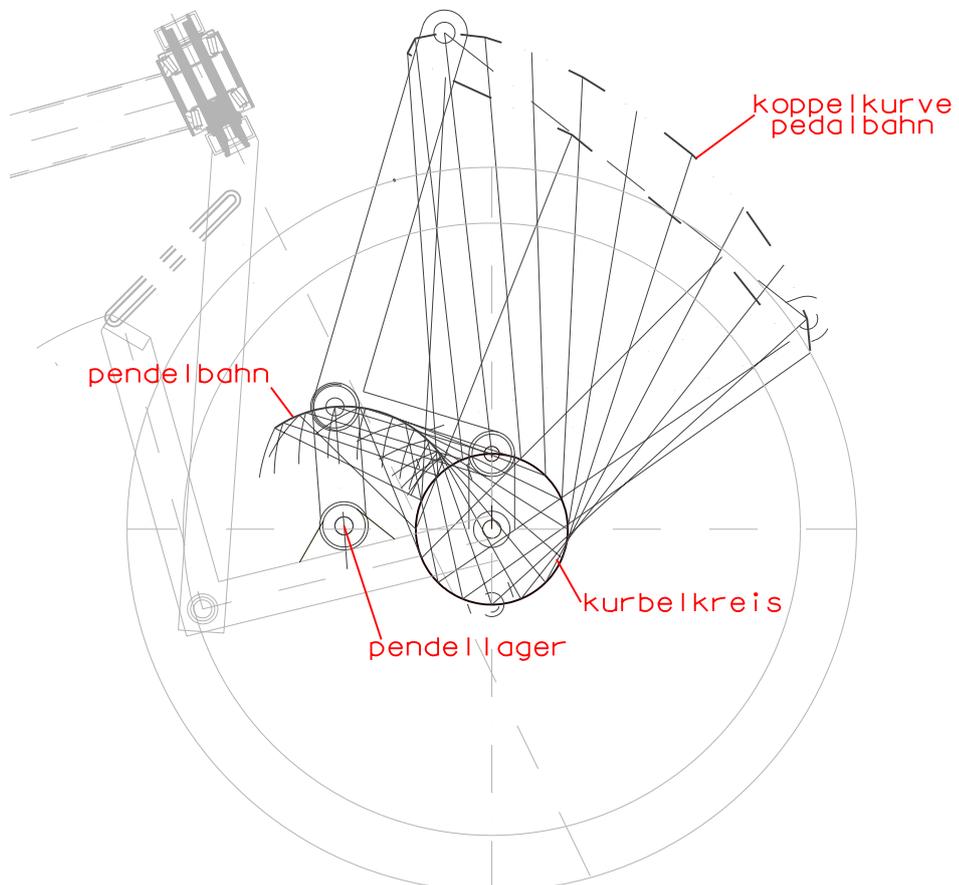


geometrie vorstudie 2 hoch



der oben dargestellte koppelkurvenantrieb ergibt ähnliche pedalkurven wie von pavlik berechnet, oberer und unterer totpunkt liegen sich noch genau gegenüber, krafteinleitungsphase über 180° .

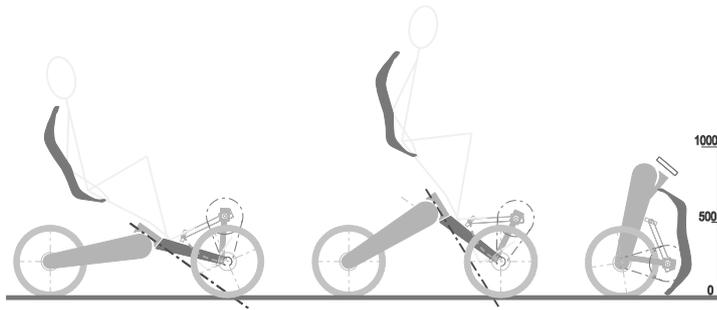
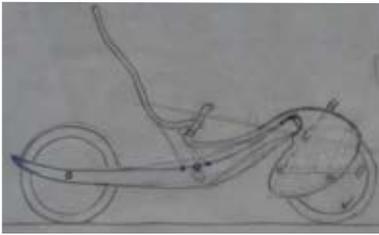
im unten dargestellten antrieb ist die rücklaufphase des pedals wesentlich schneller als die trittphase. die krafteinleitungsphase kann über 225° erfolgen. die vorderradgabel ist als federgabel ausgebildet.





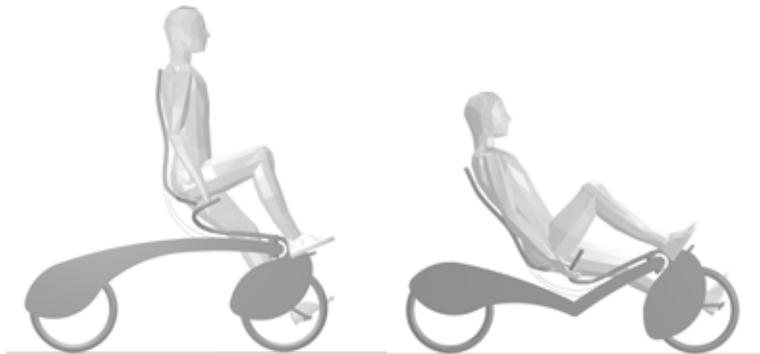
4.4 entwurf

4.4.1 formfindung



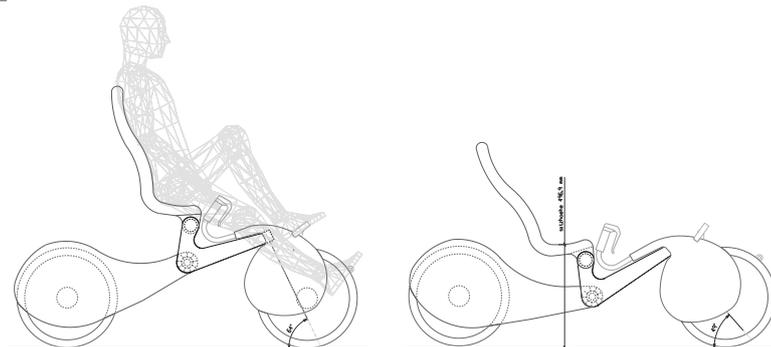
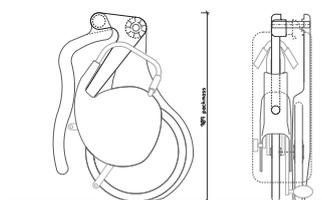
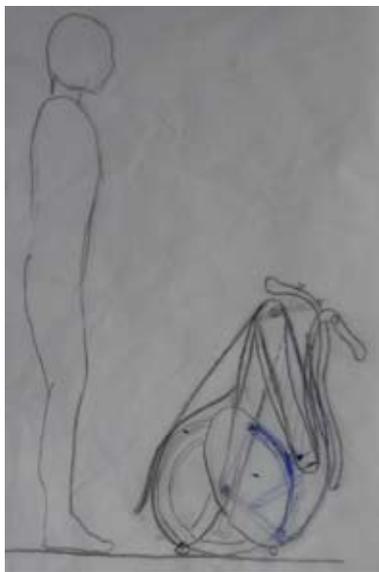
auf basis der geometrien der vorstudien werden verschiedene formale ausführungen erprobt. die räder werden „eingebaut“ um ein schmutzarmes fahren, falten und verstauen zu ermöglichen.

formal problematisch stellt sich die höhenverstellung des rahmens dar.



bei der oben dargestellten variante bilden die rahmentteile an den oberseiten einen gleichmäßig gekrümmten bogen. in der tiefgelegten fahrposition knickt dieser bogen in der mitte stark nach unten.

bei der unten dargestellten weiterentwickelten variante bilden die rahmentteile eine wellenform. der knick in der geometrie bei der tieferstellung verändert die wellenform, die form bleibt schlüssig.



4.4.2 zielgruppen

das F4 ist für die stadt konzipiert. tägliche wege können bequem und entspannt zurückgelegt werden.

in der eleganten, glatten hülle ist der technische unterbau eingebettet. dadurch besteht keine verschmutzungsgefahr auch für feine kleidung. die technischen aspekte wie bremsseile, verkabelungen und der antrieb werden nicht gezeigt. mit seiner schmutzabweisenden, gut zu pflegenden oberfläche erweckt das rad einen attraktiven, haptisch angenehmen eindruck auch in der gefalteten position. bei regen kann der sitz durch nach vorne klappen trocken gehalten werden.

durch die einfache faltmöglichkeit lässt es sich relativ klein und handlich transportieren und platzsparend verstauen.

mit dem gefalteten F4 können bei bedarf öffentliche verkehrsmittel problemlos beansprucht werden. das rad bietet sich auch für PKW- pendler in innerstädtische bereiche an (park and bike).

im gelände und auf schlecht befestigten wegen ist es nicht so gut manövrierbar wie ein touren- oder mountainbike. aufgrund der „gemütlichen“ geometrie (körperwinkel ca. 130°) liegt der schwerpunkt im entspannten zielverkehr.

als zielgruppen können pendler, segler, urbane modebewusste individualisten genannt werden; auch als ergänzung zum sportlichen mountainbike oder rennrad zum lustvollen pedalisieren in der stadt.

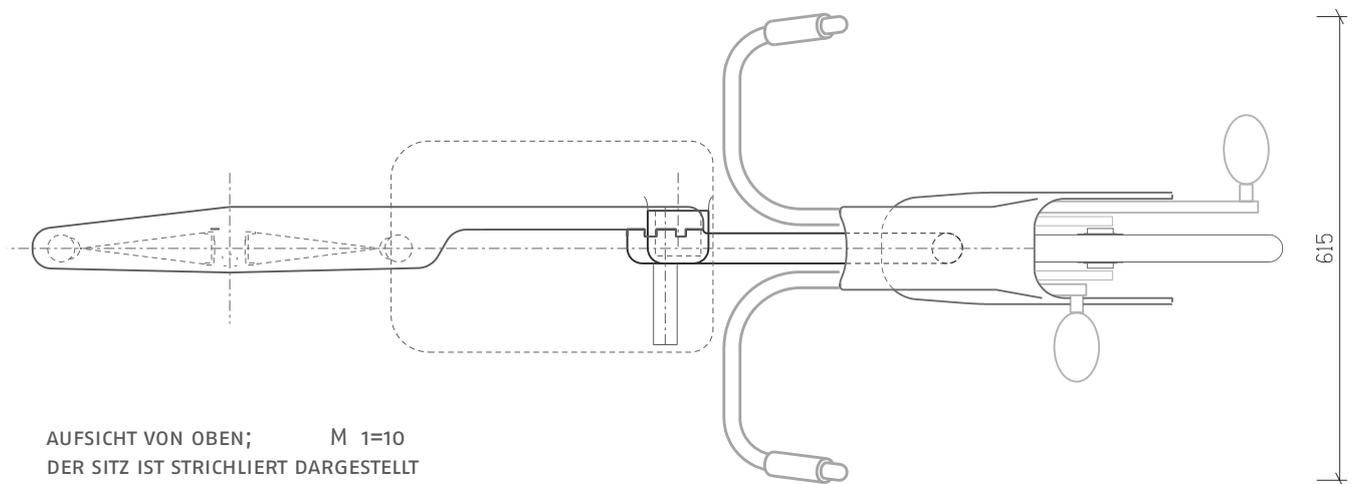
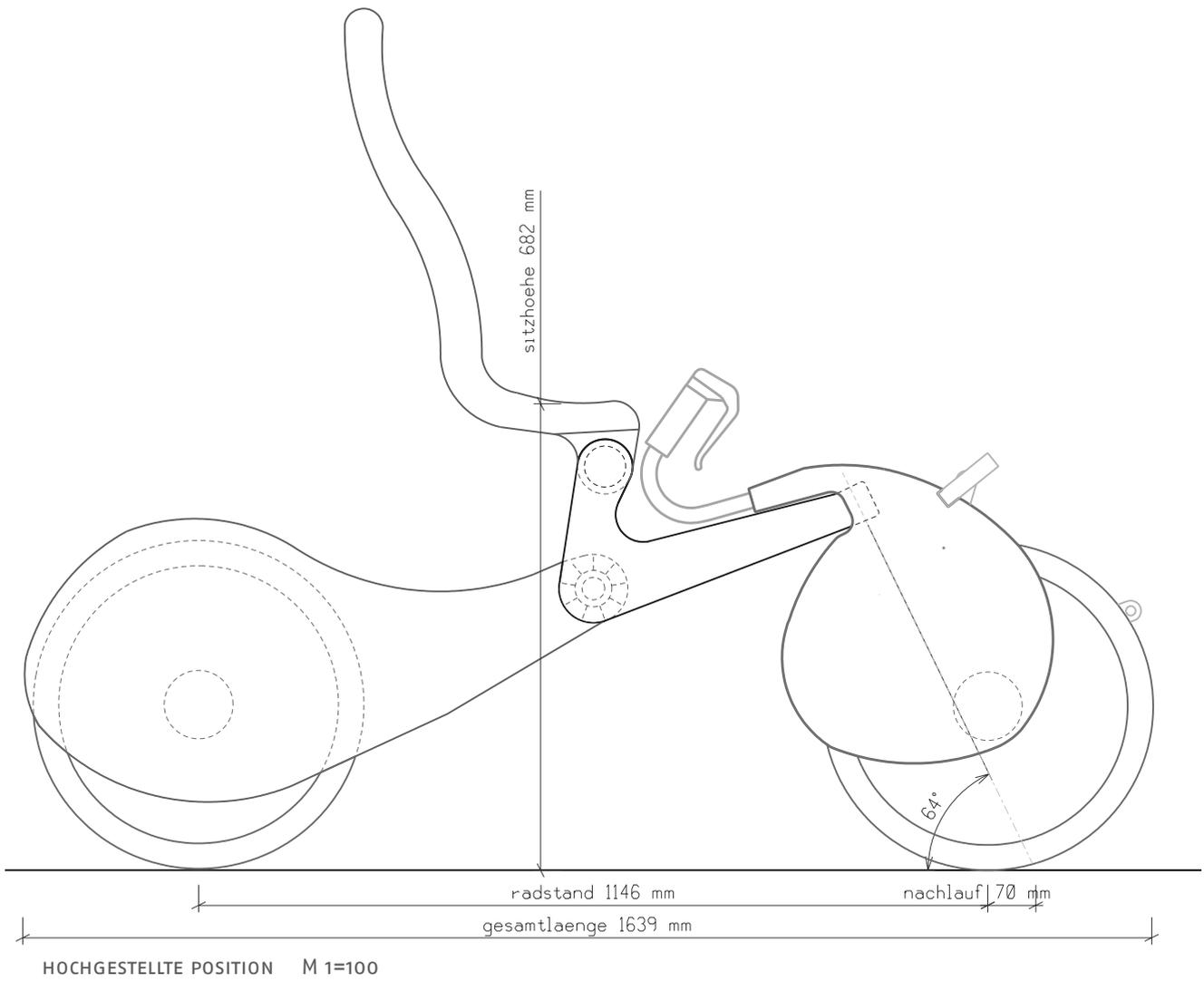
4.4.3 materialwahl

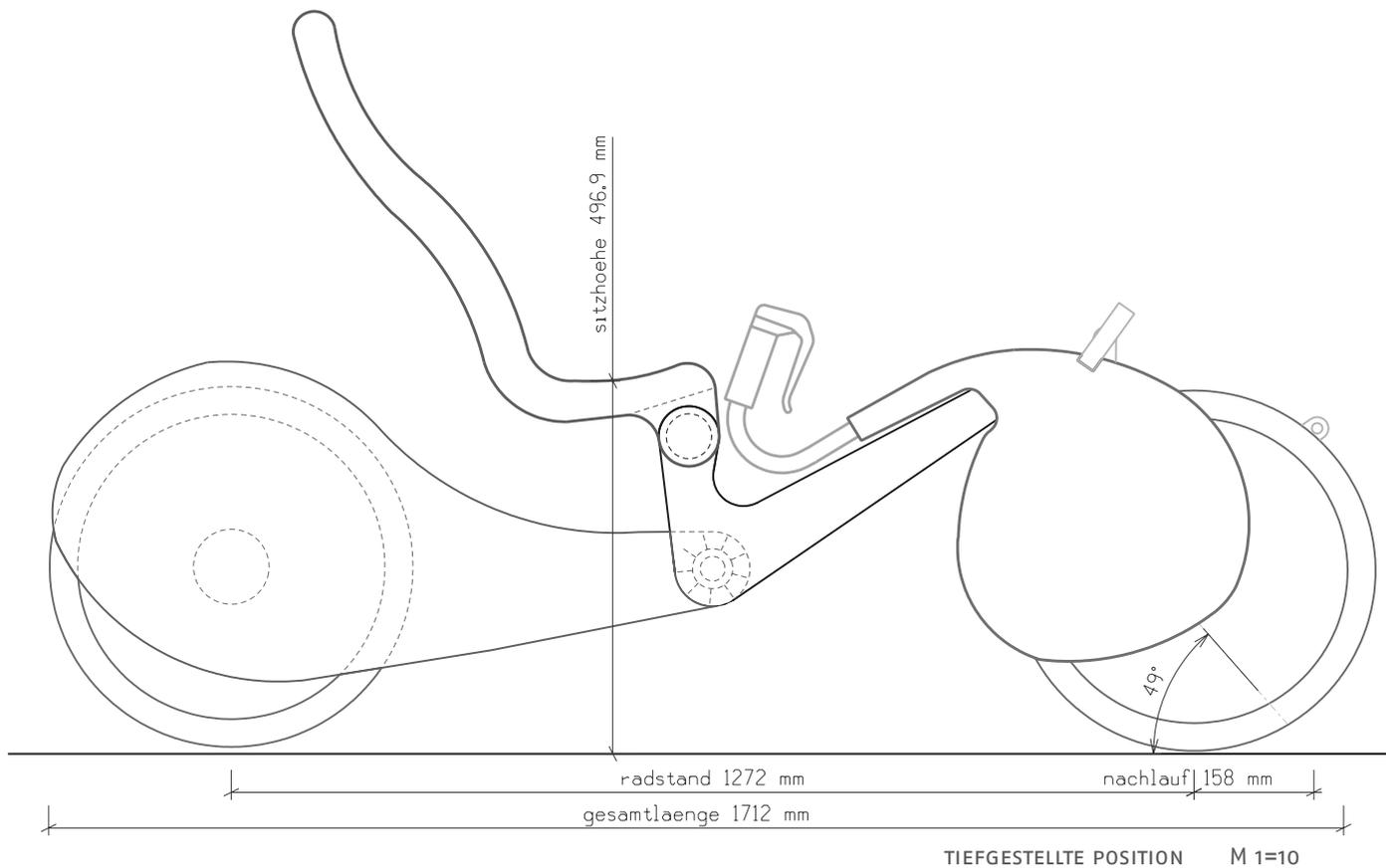
aufgrund der schalenförmigen umhüllung der räder bietet sich für den rahmen selbsttragende schalen aus CFK an. in diesen schalen sind alle anschlusssteile und die technische ausstattung wie z.b. die lichtenanlage integriert, außen ist nur die glatte oberfläche sichtbar. im bereich der vordergabel wird dies zum beispiel über die im servicefall nach unten klappbare federschwinge möglich.

der gepolsterte sitz ist aus atmungsaktivem material, um schweißbildung am rücken zu vermeiden.

die laufräder sind speichenlos aus CFK ausgeführt im sinne eines homogenen erscheinungsbildes.

4.4.3 zeichnungen

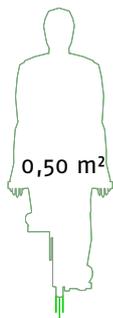




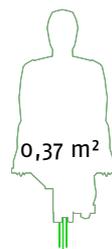
zu erwartende projizierte flächen:
 dies ergibt bezogen auf tabelle s.25 geschwindigkeiten von 16 bzw 25
 km/h bei einer leistung von 0,1 PS.

hochgestellt: 0,50 m² cw~1 Aeff 0,5 m² ca 21,1 km/h

tiefgestellt: 0,37 m² cw~0,77 Aeff 0,28 m² ca 23,6 km/h

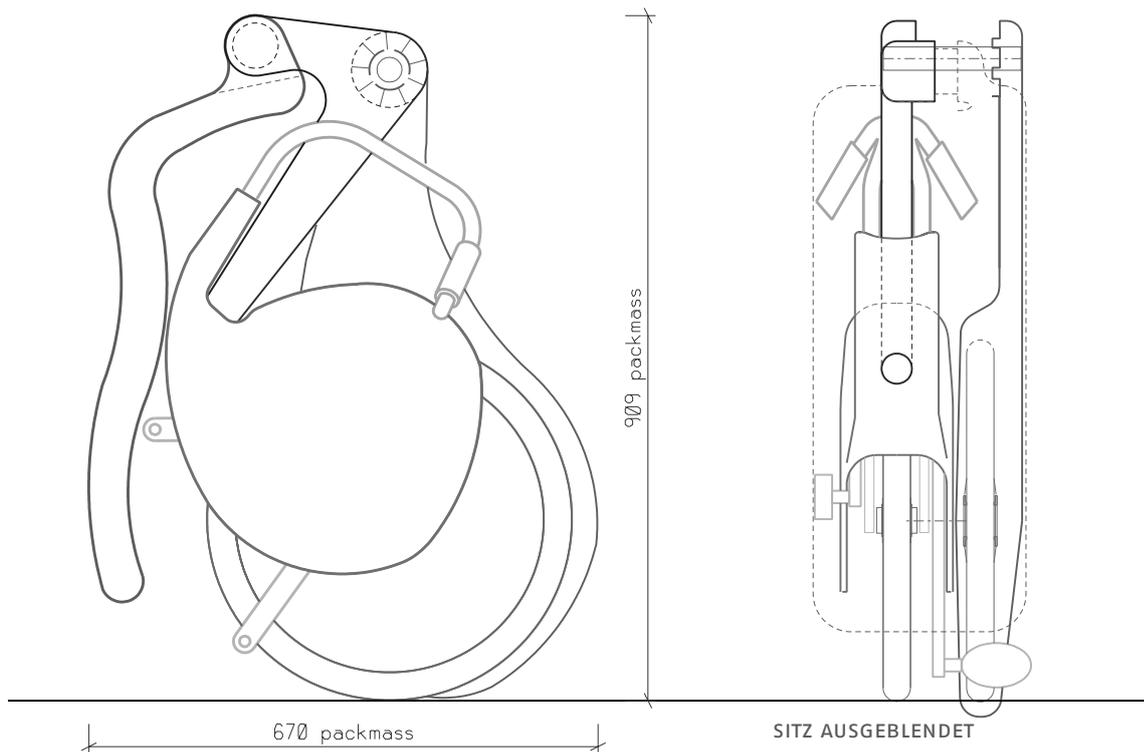
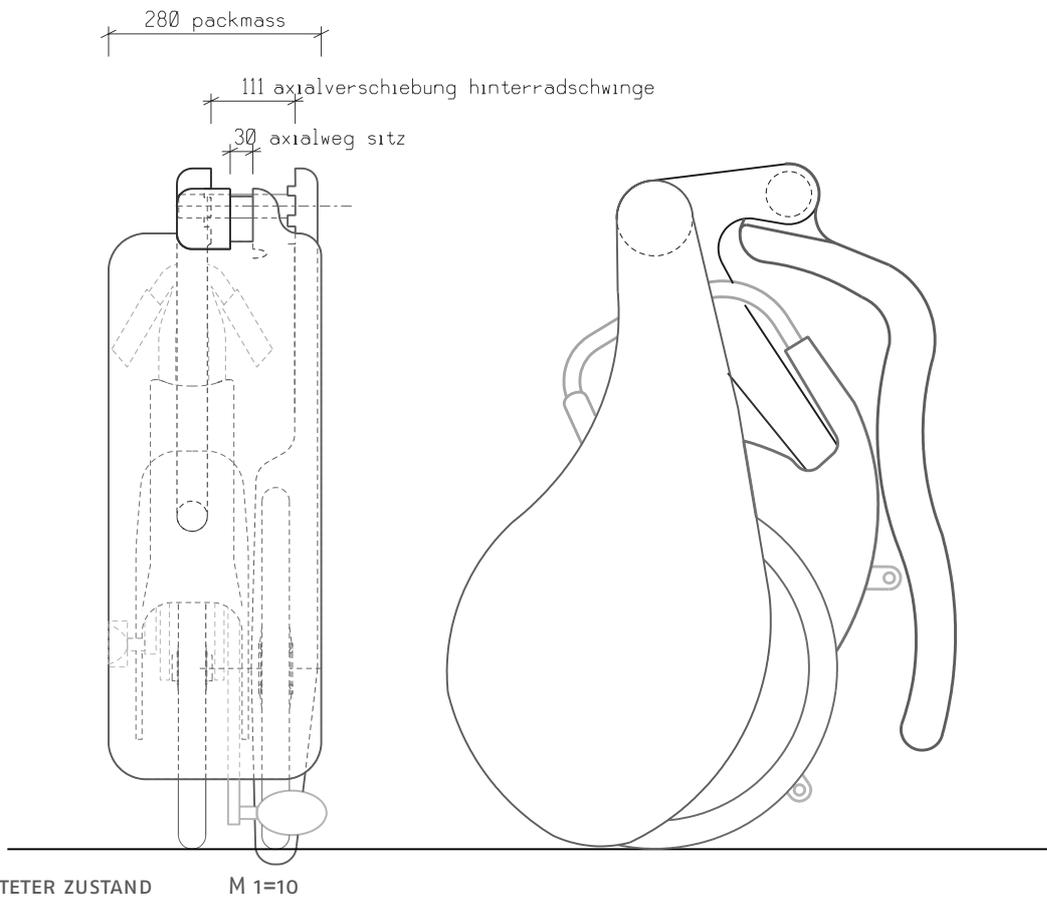


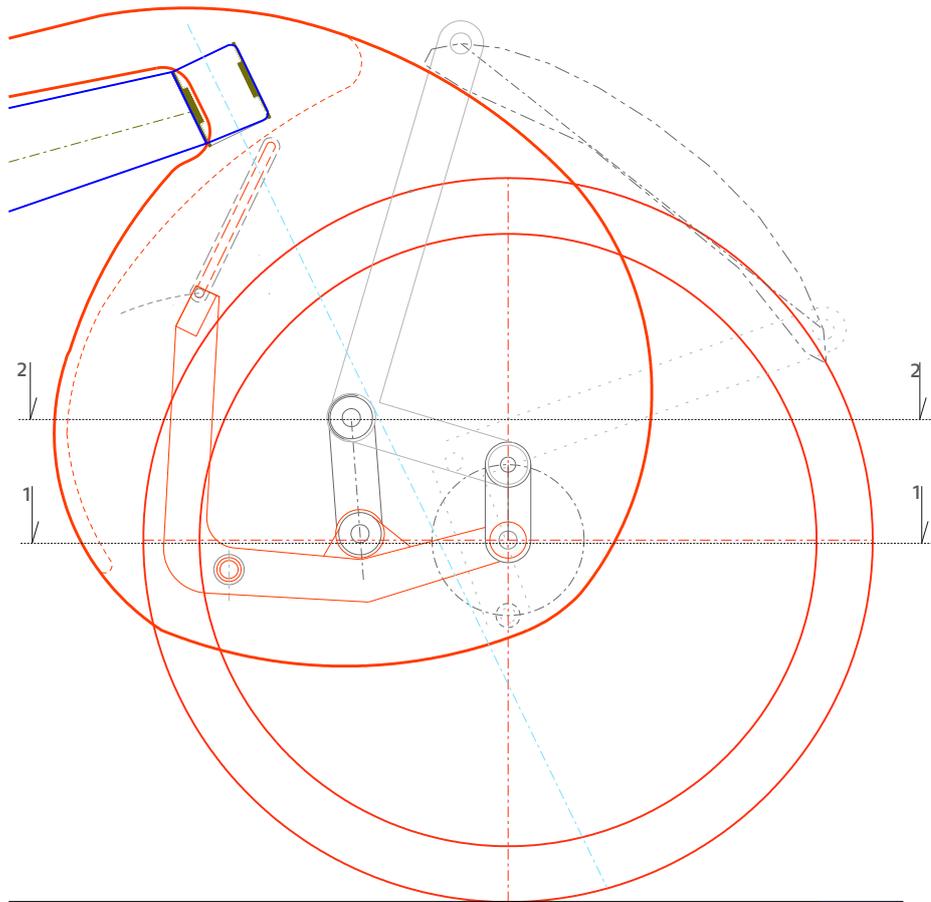
SCHATTENFLÄCHE HOCHGESTELLT



SCHATTENFLÄCHE TIEFGESTELLT

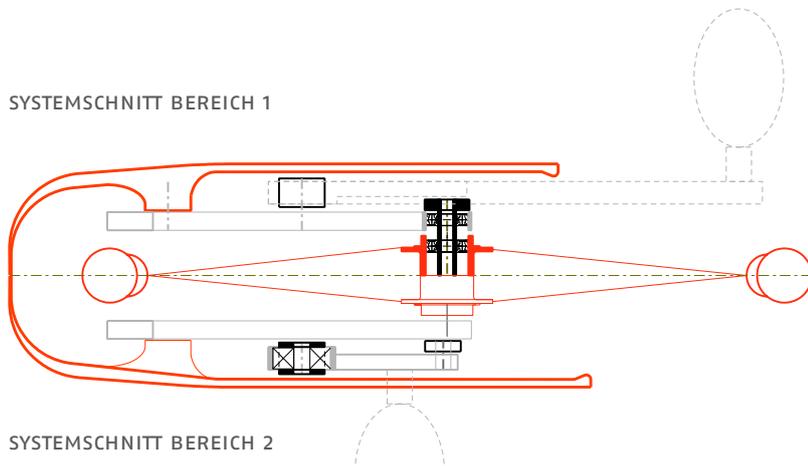
beim faltvorgang wird die hinterradschwinge 110 mm zur seite entlang der achse verschoben, bis das hinterrad die position neben der vorderradschwinge einnehmen kann. diese axialbewegung kann auch mithilfe einer auf der achse aufbrachten führungsnut vorgegeben werden. ebenso muss der sitz um 30 mm achsial verschoben werden, um ein geringes packmaß zu gewährleisten.





SYSTEMSKIZZE VORDERRADSWINGE M 1=5

SYSTEMSCHNITT BEREICH 1



SYSTEMSCHNITT BEREICH 2

4.4.4 renderings





5. verzeichnisse

5.1 literatur und quellenverzeichnis:

- 1 KNOFACHER, HERMANN STEHZEUGE – DER STAU IST KEIN VERKEHRSPROBLEM
WIEN 2001
- 2 SENNETT, RICHARD FLEISCH UND STEIN
BERLIN 1995
- 3 PIEGLER „A., TELTSCHER A. RADFAHREN IN WIEN
WIEN 1991
- 4 MÜLLER, A. K. (RED.) FAHRRADZUKUNFT
BERLIN 1988
- 5 WILSON, DAVID GORDON BICYCLING SCIENCE 3RD EDITION
CAMBRIDGE 2004
- 6 ULREICH, WALTER FAHRRAD = WEG/ZEIT
ANMERKUNGEN ZUR ÖSTERREICHISCHEN FAHRRADGESCHICHTE
WIEN 1990
- 7 PILZ, BARBARA / BREU, ZITA (RED.) FAHR!RAD – VON DER DRAISINE ZUR HIGHTECH MASCHINE
WIEN 2002
- 8 WINKLER, FRITZ/ RAUCH, SIEGFRIED FAHRRADTECHNIK 7. AUFLAGE
BIELEFELD 1991
- 9 CD PATENTPORTFOLIO LIEGERÄDER
DORTMUND 2006
- 11 HERZOG, ULRICH FAHRRADPATENTE
KIEL 1984
- 12 FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD
KIEL 1992
- 13 LEUFEN J. / MÖLLER E. DAS FAHRRAD, 2. AUFLAGE
KIEL 1987
- 14 DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO
PARIS 2000
- 15 BALLANTINE, RICHARD RICHARD'S 21ST-CENTURY BICYCLE BOOK
NEW YORK 2001
- 16 PAWLIK, ROLAND BIOMECHANIK DES RADFAHRENS
UNTERSUCHUNG DER MAXIMALEN MENSCHLICHEN LEISTUNGSABGABE
DISSERTATIONEN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT WIEN, BAND 57
WIEN 1995
- 17 RADSPORTREGLEMENT DER UCI – RUBRIK I – ALLGEMEINE ORGANISATION DES RADSPORTS (12.05.2005)
ONLINE UNTER: [HTTP://WWW.RAD-NET.DE](http://www.rad-net.de) [27.2.2008]
- 18 FEHLAU, GUNNAR DAS MODUL-BIKE
KIEL 1997
- 19 HÖFLER, HEIKE DIE NACKENSCHULE
MÜNCHEN 2003
- 20 T.W.ADORNÓ MINIMA MORALIA – REFLEXIONEN AUS DEM BESCHÄDIGTEN LEBEN
FRANKFURT 1950
- 21 KLEIN, BERND LEICHTBAUKONSTRUKTION, BERECHNUNGSGRUNDLAGEN UND GESTALTUNG
WIESBADEN 2005

5.2 abbildungsverzeichnis

NICHT GELISTETE BILDER VON FRED HOFBAUER

| | | |
|----|--|--------------|
| 3 | BAUCHLIEGER | |
| | HTTP://WWW.HAASIES-RADSchLAG.DE/CMS/INDEX.PHP?ID=482,517,0,0,1,0; | 24.5.2008 |
| 4 | PEER GYNT | |
| | HTTP://WWW.LEGSLARRY.BEERDRINKERS.CO.UK/MAGS/BMMAY82_02.HTM | 23.5.2008 |
| 5 | KURZLIEGER | |
| | HTTP://WWW.HAASIES-RADSchLAG.DE/CMS/INDEX.PHP?ID=482,517,0,0,1,0 | 24.5.2008 |
| 6 | TIEF LIEGER | |
| | HTTP://WWW.JJSCOZZI.COM/M5_CARBON.HTM | [23.5.2008] |
| 7 | VELOZIPED LALLEMENT | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 33 |
| 8 | RENNHOCHRAD | |
| | BARBARA PILZ, ZITA BREU (RED.): FAHR!RAD – VON DER DRAISINE ZUR HIGHTECH MASCHINE AUSSTELLUNGSKATALOG 2002 EDITION TMW TECHNISCHES MUSEUM WIEN | S. 121 |
| 9 | SCHWINGHEBELRAD | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 82 |
| 10 | NIEDERRAD | |
| | BARBARA PILZ, ZITA BREU (RED.): FAHR!RAD – VON DER DRAISINE ZUR HIGHTECH MASCHINE AUSSTELLUNGSKATALOG 2002 EDITION TMW TECHNISCHES MUSEUM WIEN | S. 120 |
| 11 | BSA NIEDERRAD | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 92 |
| 12 | CYGNET | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 125 |
| 13 | ELLIOT HICKORY | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 103 |
| 14 | KARIKATUR AUS FLIEGENDE BLÄTTER | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 10 |
| 15 | CHALLAND | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 206 |
| 16 | BAUCHLIEGER | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 14 |
| 17 | PEUGEOT | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 15 |
| 18 | JARAY | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 16 |
| 19 | MOCHET | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 41 |
| 20 | KURZZLIEGER CYCLORATIO | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 22 |
| 21 | ROBIN SHAFTDRIVE | |
| | HTTP://NBHAA.COM/INDEXOAKLAND.HTML | [12.5.2008] |
| 22 | SPACELANDER | |
| | HTTP://WWW.43BIKES.COM/FORTYTHREE/BOWDEN-WEB/SPCELNDR-43.JPG | [20.5.2008] |
| 23 | LIEGERAD RINKOVSKY | |
| | HTTP://WWW.LIEGERAD-LEIPZIG.DE/HISTORISCH/BILDER/2RAD.JPG | [7.4.2008] |
| 24 | KLAPPRAD | |
| | HTTP://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/7/7F/70ER-JAHRE-KLAPPRAD.JPG | [8.4.2007] |
| 25 | AVATAR | |
| | FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 33 |
| 26 | FUNTOM | |
| | HTTP://WWW.SLOGDESIGN.DE/SEITEN/PR.HTML | [12.12.2007] |
| 27 | FLEVORACER | |
| | HTTP://FLEVOFANCLUB.LIGFIETS.NET/ | [2.3.2008] |
| 28 | MOULTON R | |
| | HTTP://WWW.MOULTON-FAHRRADER.DE/26.HTML?&DETAIL=1&GROUP=6 | [12.5.2008] |
| 29 | VELOKRAFT | |
| | HTTP://WWW.VELOKRAFT.COM/-NC.HTM | [8.4.2008] |
| 30 | FRED MARKHAM | |
| | HTTP://WWW.VEOLINER.COM/DMNO6/7206/2DSCN0688.JPG | [2.3.2008] |
| 31 | RENNEN MOCHET | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 33 |
| 32 | EDDY MERCKX | |
| | HTTP://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/THUMB/6/61/EDDYMERCKXHOURECORDBIKE2.JPG | [10.5.2008] |

| | | |
|----|--|-------------|
| 33 | SHANGHAI DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 193 |
| 34 | LEITRA HTTP://WWW.MIKUSLIEGERAD.DE/HTML/LEITRA_ALLG_10.HTML | [24.4.2008] |
| 35 | KARIKATUR FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 19 |
| 36 | DRAISINE HTTP://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/BILD:DRAISINE1817.JPG | [1.2.2008] |
| 37 | WALTER TAYLOR DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 141 |
| 38 | ÜBERSTRECKTER NACKEN HEIKE HÖFLER: DIE NACKENSCHULE 2003 BLV VERLAG MÜNCHEN | S. 31 |
| 39 | GERADER NACKEN HEIKE HÖFLER: DIE NACKENSCHULE 2003 BLV VERLAG MÜNCHEN | S. 32 |
| 40 | JAN ULLRICH HTTP://WWW.JANULLRICH.DE/INDEX.PHP?ID=8&GAL_ID=11823&NR=4 | [11.4.2008] |
| 41 | RUDERRAD HTTP://WWW.VOGABIKE.COM/ | [11.4.2008] |
| 42 | SPEEDMACHINE HTTP://WWW.HPVELOTECHNIK.COM/PRODUKTE/SPM/INDEX_D.HTML | [11.4.2008] |
| 43 | CUTTING EDGE FEHLAU, GUNNAR DAS LIEGERAD KIEL 1992 | S. 39 |
| 44 | STREET MACHINE HTTP://WWW.ZWEIPLUSZWEI.AT/STREETMACHINE.HTM | [11.4.2008] |
| 45 | ZOX LOW HTTP://WWW.MHW-BIKE-HOUSE.DE/SHOP/DATA/IMAGES-GG/242_0.JPG | [11.4.2008] |
| 46 | BUNAU VARILLA DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 207 |
| 47 | OSCAR EGG DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 207 |
| 48 | ALAN ABBOTT HUMAN POWER: VOLUME 1, NR.1 WINTER 1977/1978 | S. 12 |
| 49 | BILL WATSON HUMAN POWER: VOLUME 1, NR.1 WINTER 1977/1978 | S. 12 |
| 50 | FRED MARKHAM VARNA BIKE HTTP://WWW.RECUMBENTS.COM/WISIL/RACING2006/DEMPSEY2006.HTM | [3.12.2007] |
| 51 | FAHRSCHULE NEW YORK J. LEUFEN/ E. MÖLLER: DAS FAHRRAD, 2. AUFLAGE 1987 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 14 |
| 52 | FAHRSCHULE ERLACH BARBARA PILZ, ZITA BREU (RED.): FAHR!RAD – VON DER DRAISINE ZUR HIGHTECH MASCHINE AUSSTELLUNGSKATALOG 2002 EDITION TMW TECHNISCHES MUSEUM WIEN | S. 28 |
| 53 | XTRAORDINARY DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 68 |
| 54 | LEVOCYCLETTE DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 168 |
| 55 | AVIROUTE HTTP://WWW.AVIROUTE.FR/ | [20.4.2008] |
| 56 | STREETSTEPPER HTTP://WWW.LUXIST.DE/LUXIST/2007/09/26/BODYBUDDY-THE-STREETSTEPPER/ | [20.4.2008] |
| 57 | GROUT PORTABLE GUNNAR FEHLAU: DAS MODUL-BIKE 1997 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 12 |
| 58 | FAUN PORTABLE GUNNAR FEHLAU: DAS MODUL-BIKE 1997 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 13 |
| 59 | WACHTELBRENNER GUNNAR FEHLAU: DAS MODUL-BIKE 1997 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 19 |
| 60 | BSA PARATROOPER GUNNAR FEHLAU: DAS MODUL-BIKE 1997 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 21 |
| 61 | MILITÄRFALTRAD GUNNAR FEHLAU: DAS MODUL-BIKE 1997 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 16 |
| 62 | MOULTON BRIDGESTONE HTTP://WWW.FOLDINGBIKES.CO.UK/BRIDGESTONE.HTM | [3.12.2007] |
| 63 | BIKEFRIDAY HTTP://WWW.FOLDINGBIKES.CO.UK/BIKEFRIDAY.HTM | [3.12.2007] |
| 64 | BICKERTON HTTP://WWW.KETTENREAKTION.AT/EXPONATE.HTML | [3.12.2007] |
| 65 | BROMPTON HTTP://WWW.FOLDINGBIKES.CO.UK/BROMPTON.HTM | [3.12.2007] |
| 66 | BIRDY HTTP://WWW.FOLDINGBIKES.CO.UK/BIRDY.HTM | [3.12.2007] |

| | | |
|----|---|--------------|
| 67 | MOBIKY | |
| | HTTP://WWW.FOLDINGBIKES.CO.UK/MOBIKY.HTM | [4.12.2007] |
| 68 | FX GRASSHOPPER | |
| | HTTP://WWW.HPVELOTECHNIK.COM/PRESSE/PRESSE_NEUHEITEN2008_D.HTML | [8.5.2008] |
| 69 | MCS SPIDER | |
| | HTTP://WWW.MCSBIKE.COM/HTML/I_SPIDER.HTML | [4.12.2007] |
| 70 | VELO BOIS | |
| | TILL BREITFUSS, PARIS | |
| 71 | BAMBUSRAD LOVEGROVE | |
| | HTTP://WWW.BIOMEGA.DK/BIOMEGA.ASPX | [8.1.2008] |
| 72 | BAMBOO CYCLE | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 121 |
| 73 | BIOMEGA MN1 MARK NEWSON | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 103 |
| 74 | FUNTOM X | |
| | HTTP://WWW.SLOGDESIGN.DE/SEITEN/PR.HTML | [12.12.2007] |
| 75 | BIOMEGA KARIM RASHID | |
| | HTTP://WWW.BIOMEGA.DK/BIOMEGA.ASPX | [8.1.2008] |
| 76 | ELEMENT DESIGN BIKE | |
| | HTTP://WWW.ELEMENT.CO.AT/INDEX.PHP?CAT=1 | [9.1.2008] |
| 77 | STRIDA | |
| | HTTP://WWW.STRIDA.COM/ | [27.4.2008] |
| 78 | ZOOM BIKE | |
| | HTTP://WWW.KETTENREAKTION.AT/EXPONATE.HTML | [3.12.2007] |
| 79 | X-BIKE | |
| | HTTP://WWW.MAS-DESIGN.COM/X-BIKE.HTML | [4.3.2008] |
| 80 | SCOOT | |
| | HTTP://WWW.KETTENREAKTION.AT/EXPONATE.HTML | [3.12.2007] |
| 81 | PNEUMATIC CYC | |
| | HTTP://WWW.STAATSPREIS.DE/14-0-PREISTRAEGER.HTML | [27.11.2007] |
| 82 | DRAISINE HOLZ | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 13 |
| 83 | JANO PLYBIKE | |
| | HTTP://GP.CO.AT/WORKS/JANO/ | [2.4.2008] |
| 84 | PEDERSON KNOCK DOWN | |
| | GUNNAR FEHLAU: DAS MODUL-BIKE 1997 MOBY DICK VERLAG, KIEL | S. 47 |
| 85 | IXI BIKE | |
| | HTTP://WWW.IXIBIKE.COM/IXIFEATURES.HTM | [2.4.2008] |
| 86 | TITANRAHMEN | |
| | HTTP://WWW.SIGGGI-HUEWEL.DE/PICS/RAHMEN1.JPG | [14.4.2008] |
| 87 | GREENMACHINE | |
| | HTTP://WWW.EVOBIKE.NL/CONTENT/VIEW/16/79/LANG,NL/ | [14.4.2008] |
| 88 | CERVELO K01 | |
| | LOIS RENNER | |
| 89 | MIKE BURROWS | |
| | DODGE, PYROR LA GRANDE HISTOIRE DU VELO, PARIS 2000 | S. 208 |

